



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



Curso de Graduação em Engenharia Civil

Karina de Oliveira Antunes

Estudo comparativo entre lajes maciças e nervuradas unidirecionais e bidirecionais de concreto armado

Trabalho de Conclusão de Curso

Uberlândia
2017

Karina de Oliveira Antunes

Estudo comparativo entre lajes maciças e nervuradas unidirecionais e bidirecionais de concreto armado

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil – FECIV – da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, como parte das atividades necessárias para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Romero Gesualdo.

Uberlândia
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que sempre me guia e me capacitou a concluir esse trabalho, sempre me dando forças pra superar as adversidades. Aos meus pais e irmão, José Antunes, Maria Iolanda e Rafael, pela dedicada educação que me concederam, por estarem sempre ao meu lado me dando força, apoio, confiança e amor.

Aos mestres e técnicos que tiveram um papel fundamental em nossas vidas. Que nos guiaram durante todo o tempo, que transmitiram tão bem os conhecimentos que levarei por toda a vida. Em especial agradeço ao professor orientador Dr. Francisco Antonio Romero Gesualdo pela dedicação, paciência e disponibilidade, colaborando para que fizesse um bom trabalho. Obrigada por contribuir para a minha formação profissional.

Agradeço imensamente à engenheira Maria Regina Ayres de Lima, que abriu as portas de seu escritório transmitindo o seu conhecimento, juventude, brilhantismo e amizade, sempre disposta a ajudar em qualquer assunto, seja sobre a sua experiência profissional ou pessoal.

Finalmente, agradeço aos meus amigos, de pensionato, de faculdade, de Belo Horizonte, os quais colaboraram com seus conhecimentos, conselhos e dicas. Sem dúvida vocês contribuíram para que eu realizasse um bom trabalho, crescesse profissionalmente e para que essa caminhada de cinco anos fosse o mais prazerosa possível.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo dimensionar e analisar comparativamente um edifício de laje maciça e de lajes nervuradas unidirecionais e bidirecionais em concreto armado. Atualmente, o engenheiro dispõe de um grande número de sistemas estruturais aliados a novas ferramentas de cálculo, como programas computacionais, o que auxilia em uma maior precisão e rapidez no processo de análise estrutural. Cabe ao engenheiro fazer o uso adequado destas ferramentas a sua disposição, escolhendo a opção mais adequada do sistema estrutural, conciliando as particularidades arquitetônicas e construtivas, garantindo segurança e economia. Inicialmente apresentam-se os conceitos básicos sobre o tema, os sistemas estruturais adotados, descrevendo suas principais características, o programa computacional utilizado, abordando os critérios de projeto, concepção e definição dos elementos estruturais. Em seguida, com o auxílio do programa computacional CAD TQS, foram comparadas as distribuições de carga na laje e em todo o edifício, o consumo de materiais (concreto, fôrmas e aço) e os deslocamentos nas lajes e vigas. Após a análise comparativa de cada sistema estrutural, chegou-se a conclusão de que a laje treliçada bidirecional com enchimento de blocos cerâmicos foi a que mais se aproximou da distribuição de cargas da laje maciça. Em questão de consumo de materiais, concreto e fôrmas, a laje nervurada de seção retangular é a mais próxima da laje maciça. Já a laje treliçada unidirecional tem um consumo de aço próximo do consumo da laje maciça. Entretanto, em questão econômica, as lajes que se comportam como a laje maciça não são as melhores. O custo dos materiais, concreto, fôrmas e aço, que não foram analisados, também devem ser fundamentais na escolha da laje. Dessa forma, foi apresentado um resultado e um modo de serem feitas comparações entre sistemas construtivos.

Palavras-chaves: Sistemas estruturais, estruturas de concreto armado, lajes maciças, lajes nervuradas, comportamento estrutural, consumo de materiais e programa computacional CAD TQS.

ABSTRACT

This work has the purpose of dimensioning and analyzing comparatively a solid slab building and unidirectional and bidirectional ribbed slabs in reinforced concrete. Nowadays, the engineer has a large number of structural systems allied to new calculation tools, such as computer programs, which helps in greater precision and speed of the structural analysis process. It is up to the engineer to make the proper use of these tools at his disposal, choosing the most appropriate option of the structural system, reconciling the architectural and constructive particularities, ensuring safety and economy. First, it is displayed the basic concepts on the subject, the structural systems adopted, describing its main characteristics, the software used, addressing the criteria of projects, conception and definition of structural elements. Then, with the aid of the software CAD TQS, were compared load distributions on the slab and throughout the building, consumption of materials (concrete, forms and steel) and the displacements on slabs and beams. After the comparative analysis of each structural system, it was concluded that the two-way latticed slab with ceramic block filler was the one that most approached the distribution of loads of the solid slab. In terms of consumption of materials, concrete and forms, the corrugated slab with a rectangular section is the one closest to the massive slab. The unidirectional slab has a consumption of steel close to the consumption of the massive slab. However, in economic matters, the slabs that behave like a massive slab are not the best. The cost of the materials, concrete, forms and steel, which were not analyzed, must also be fundamental in the choice of slab. Thus, a result and a way of making comparisons between construction systems were presented.

Keywords: structural systems, reinforced concrete structures, solid slabs, ribbed slabs, structural behavior, consumption of materials and software CAD TQS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Laje com vigotas de concreto armado	15
Figura 2 - Laje com vigotas de concreto protendido	15
Figura 3 - Lajes com vigotas treliçadas	16
Figura 4 - Laje nervurada invertida	16
Figura 5 - Laje nervurada dupla	17
Figura 6 - Laje nervurada meio tubo	17
Figura 7 - Laje nervurada estrutubo	17
Figura 8 - Elementos de enchimento	18
Figura 9 - Detalhe de molde de fôrma de polipropileno.....	19
Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo.....	23
Figura 11 - Corte esquemático do edifício	24
Figura 12 - Fluxograma geral do sistema CAD/TQS	27
Figura 13 - Inserção de dados da edificação.....	28
Figura 14 - Ábaco para cálculo do coeficiente de arrasto	32
Figura 15 - Isopletas da velocidade básica (m/s).....	33
Figura 16 - Posicionamento dos pilares, vigas e lajes do quinto pavimento	36
Figura 17 - Posicionamento das vigas baldrame e tubulões	38
Figura 18 - Planta da escada no pavimento 5	39
Figura 19 - Corte AA da escada do pavimento 5 com sua armadura	40
Figura 20 - Corte BB da escada do pavimento 5 com sua armadura.....	41
Figura 21 - Planta do pavimento 4.....	42
Figura 22 - Armadura das treliças no programa CAD TQS	43
Figura 23 - Seção típica da treliça	44
Figura 24 - Dados da laje unidirecional.....	45

Figura 25 - Dados da laje bidirecional de enchimento cerâmico	46
Figura 26 - Dados da laje bidirecional com enchimento de EPS 08/40/49 cm	46
Figura 27 - Dados da laje bidirecional com enchimento de EPS 10/50/59 cm	47
Figura 28 - Formato da célula da laje nervurada de seção retangular	47
Figura 29 - Forma ATEX 600 150	48
Figura 30 - Estrutura em 3D	49
Figura 31 - Gráfico de consumo de concreto em m ³	58
Figura 32 - Gráfico de consumo de fôrmas em m ²	59
Figura 33 - Consumo de aço em kg	64
Figura 34 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes maciças	79
Figura 35 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas unidirecionais	80
Figura 36 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas bidirecionais com enchimento cerâmico	81
Figura 37 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas bidirecionais com enchimento EPS 08/40/49	82
Figura 38 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas bidirecionais com enchimento EPS 10/50/59	83
Figura 39 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes nervradas de seção retangular	84
Figura 40 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes nervradas de seção trapezoidal	85
Figura 41 - Distribuição de cargas laje maciça	86
Figura 42 - Distribuição de cargas laje treliçada unidirecional	87
Figura 43 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional bloco cerâmico	88
Figura 44 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49	89
Figura 45 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59	90
Figura 46 - Distribuição de cargas laje nervurada de seção retangular	91
Figura 47 - Distribuição de cargas laje nervurada de seção trapezoidal	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altura total da laje	20
Tabela 2 - Intereixos mínimos padronizados.....	21
Tabela 3 - Definição dos pavimentos do edifício	29
Tabela 4 - Classes de agressividade ambiental (CAA).....	30
Tabela 5 - Cobrimentos adotados para os elementos estruturais.....	30
Tabela 6 - Cobrimentos adotados para os elementos em contato com o solo	31
Tabela 7 - Fatores de redução de sobrecargas ELU e ELS	31
Tabela 8 - Coeficientes de arrasto	31
Tabela 9 - Dimensão dos pilares.....	34
Tabela 10 - Especificações técnicas da armadura	44
Tabela 11 - Características da forma ATEX 600 150	48
Tabela 12 - Distribuição de cargas laje maciça	50
Tabela 13 - Distribuição de cargas laje treliçada unidirecional.....	51
Tabela 14 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional bloco cerâmico	51
Tabela 15 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49	51
Tabela 16 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59	52
Tabela 17 - Distribuição de cargas laje nervurada seção retangular	52
Tabela 18 - Distribuição de cargas laje nervurada seção trapezoidal.....	53
Tabela 19 - Consumo de materiais para laje maciça	54
Tabela 20 - Consumo de materiais para laje treliçada unidirecional.....	54
Tabela 21 - Consumo de materiais para laje treliçada unidirecional bloco cerâmico	55
Tabela 22 - Consumo de materiais para laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49.....	55
Tabela 23 - Consumo de materiais para laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59.....	56
Tabela 24 - Consumo de materiais para laje nervurada seção retangular	56

Tabela 25 - Consumo de materiais para laje nervurada seção trapezoidal.....	57
Tabela 26 - Consumo de aço laje maciça	60
Tabela 27 - Consumo de aço laje treliçada unidirecional.....	60
Tabela 28 - Consumo de aço laje treliçada bidirecional bloco cerâmico	61
Tabela 29 - Consumo de aço laje treliçada bidirecional bloco EPS 08/40/49.....	61
Tabela 30 - Consumo de aço laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59.....	62
Tabela 31 - Consumo de aço laje nervurada seção retangular	62
Tabela 32 - Consumo de aço laje nervurada seção trapezoidal.....	63
Tabela 33 - Verificação de flechas em vigas para laje maciça.....	65
Tabela 34 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada unidirecional	66
Tabela 35 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada bidirecional bloco cerâmico..	67
Tabela 36 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49 ...	68
Tabela 37 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59 ...	69
Tabela 38 - Verificação de flechas em vigas para laje nervurada seção retangular	70
Tabela 39 - Verificação de flechas em vigas para laje nervurada seção trapezoidal.....	71
Tabela 40 - Verificação das flechas em laje para lajes maciça	72
Tabela 41 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada unidirecional	72
Tabela 42 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada bidirecional bloco cerâmico..	72
Tabela 43 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49	73
Tabela 44 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59	73
Tabela 45 - Verificação das flechas em laje para laje nervurada seção retangular	74
Tabela 46 - Verificação das flechas em laje para laje nervurada seção trapezoidal.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Φ – Diâmetro da tubulação

γ_f – Coeficiente de ponderação das ações

Ψ_0 – Fator de redução de combinação para ELU

Ψ_1 – Fator de redução de combinação frequente para ELS

Ψ_1 – Fator de redução de combinação quase permanente para ELS

h – altura total

h_e - altura do elemento de enchimento

h_c - altura da capa

h_v - altura da vigota

i – intereixo

b_v – largura da vigota

b_e – largura da base do enchimento

VC – vigota de concreto armado

VP – vigota de concreto protendido

VT – vigota treliçada

E – elemento de enchimento

ELU – Estado Limite Último

ELS – Estado Limite de Serviço

SUMÁRIO

1 Introdução	13
2 Objetivo	13
3 Metodologia.....	14
4 Fundamentação teórica	14
4.1 Lajes nervuradas	14
4.1.1 Tipos	14
4.1.2 Elementos de enchimento.....	18
4.1.3 Fôrmas de polipropileno.....	18
4.2 Considerações para projetos de lajes nervuradas	19
4.2.1 Prescrições normativas	19
4.2.2 Ações a considerar nas lajes dos edifícios.....	21
4.3 Vantagens e desvantagens	21
5 Projeto arquitetônico.....	22
6 O programa CAD/TQS.....	24
7 Concepção estrutural	28
8 Definição dos elementos estruturais	33
8.1 Pilares	34
8.2 Vigas.....	37
8.3 Escadas	39
8.4 Lajes maciças.....	41
8.5 Lajes nervuradas	43
8.5.1 Lajes unidirecionais treliçadas.....	43
8.5.2 Lajes bidirecionais treliçadas.....	45
8.5.3 Laje nervurada de seção retangular	47

8.5.4 Laje nervurada de seção trapezoidal.....	47
9 Comparativo dos esforços nas lajes.....	49
9.1 Distribuição de cargas	50
9.2 Consumo de concreto e fôrmas	53
9.3 Consumo de aço.....	60
9.4 Flechas	64
10 Conclusão	75
REFERÊNCIAS	77
ANEXO A	79
ANEXO B.....	86

1 Introdução

Objetivando-se a racionalização na construção civil com minimização dos custos e prazos, as lajes nervuradas vêm se tornando uma opção cada vez mais difundida. Além disso, o seu uso foi impulsionado graças às modernas técnicas construtivas e ao desenvolvimento dos programas de análise e projeto estrutural.

De acordo com GIONGO (2007), entende-se por lajes nervuradas aquelas em que a mesa de concreto resiste às tensões de compressão e as barras das armaduras às tensões de tração, sendo que uma nervura de concreto faz a ligação mesa-armadura, podendo também absorver tensões de compressão. Portanto, o comportamento do conjunto nervura (viga) e mesa (laje) são semelhantes ao de uma viga de seção T.

O programa CAD TQS®, desenvolvido pela empresa nacional TQS Informática Ltda., é destinado à elaboração de projetos de concreto armado, protendido e em alvenaria estrutural. O TQS é um conjunto de ferramentas para cálculo, dimensionamento, detalhamento e desenho de estruturas. Os sistemas computacionais do programa em questão são apropriados para análise e projeto de lajes nervuradas, bastando que o engenheiro tome cuidado com os dados de entrada para aproveitar bem as características do sistema estrutural e não cometer descuidos.

2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é dimensionar e detalhar edifícios com lajes maciças e lajes nervuradas unidirecionais e bidirecionais em concreto armado, analisando e comparando o comportamento estrutural das mesmas. A estrutura, vigas e pilares, do edifício de lajes maciças serão fixos, alterando-se apenas os tipos de lajes, pois o presente trabalho tem como objetivo comparar as diferentes lajes com a laje maciça.

Como objetivos específicos têm-se:

- Estabelecer uma comparação com relação ao consumo de aço, concreto e fôrma;
- Analisar os deslocamentos máximos obtidos;
- Analisar as alterações na distribuição de cargas;
- Analisar os esforços solicitantes;

3 Metodologia

O primeiro passo será analisar um projeto arquitetônico de um pavimento tipo, fazendo-se as devidas compatibilizações. Feito isso, será realizado o dimensionamento e detalhamento do pavimento tipo em lajes maciças de concreto armado, utilizando-se o programa computacional TQS® de acordo com as indicações da ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14589-1:2002 e ABNT NBR 14589-2:2002.

Através deste programa será possível analisar os objetivos específicos do trabalho. Em seguida, o dimensionamento e detalhamento serão feitos para lajes nervuradas em concreto armado, unidirecional e bidirecional, fazendo-se possível realizar as comparações entre os sistemas estruturais.

O modelo de cálculo que será utilizado para a análise estrutural será a análise de grelhas, que consiste em representar a laje nervurada como uma grelha formada por vigas de seção T.

4 Fundamentação teórica

4.1 Lajes nervuradas

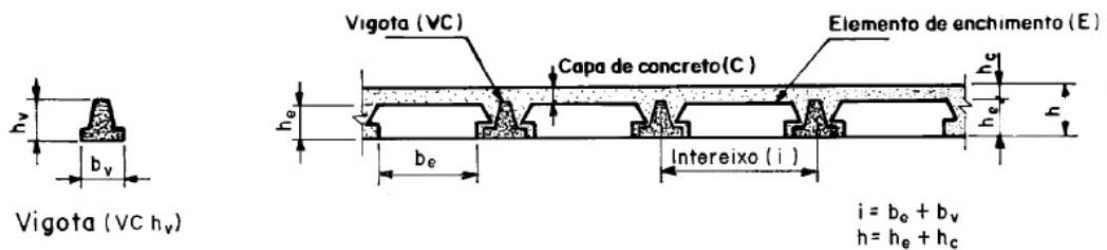
De modo geral lajes nervuradas podem ser definidas como lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. Podem ser divididas em unidirecionais e bidirecionais. Sendo as unidirecionais lajes nervuradas constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção e as bidirecionais lajes nervuradas constituídas por nervuras principais em duas direções.

4.1.1 Tipos

De acordo com a ABNT NBR 14589-1:2002, lajes nervuradas são aquelas constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade. Englobam total ou parcialmente a armadura inferior de tração, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal. Podem ser dos tipos:

- a) Concreto armado: com seção de concreto usualmente formando um “T” invertido, com armadura passiva totalmente englobada pelo concreto da vigota; utilizadas para compor lajes de concreto armado (Figura 1).

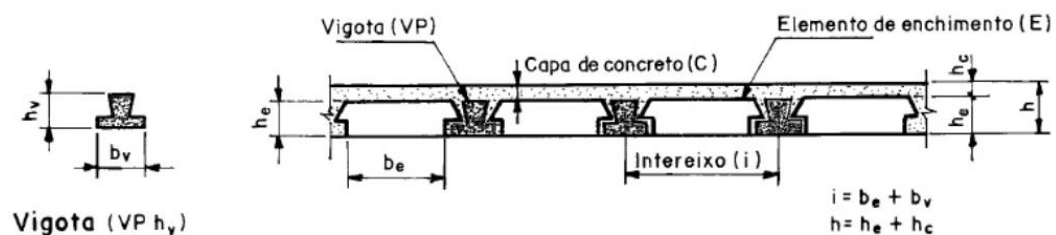
Figura 1 - Laje com vigotas de concreto armado



Fonte: ABNT NBR 14589-1: 2002.

- b) Concreto protendido: com seção de concreto usualmente formando um “T” invertido, com armadura ativa pré-tensionada totalmente englobada pelo concreto da vigota; utilizadas para compor as lajes de concreto protendido (Figura 2).

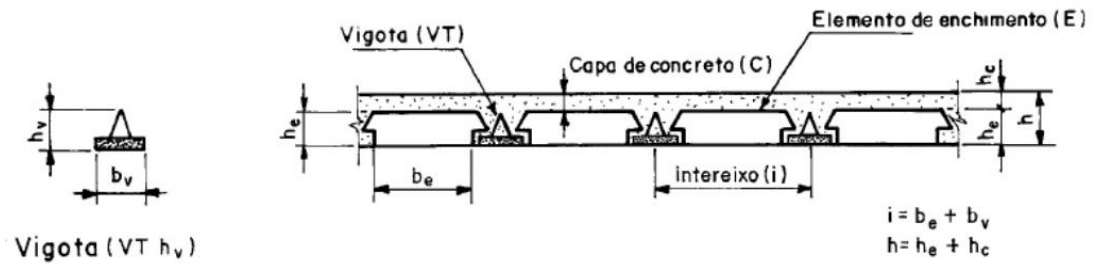
Figura 2 - Laje com vigotas de concreto protendido



Fonte: ABNT NBR 14589-1: 2002.

- c) Trelçadas: com seção de concreto formando uma placa, com armadura trelçada parcialmente englobada pelo concreto da vigota. Quando necessário, deverá ser complementada com armadura passiva inferior de tração totalmente englobada pelo concreto da nervura; utilizadas para compor as lajes trelçadas (Figura 3).

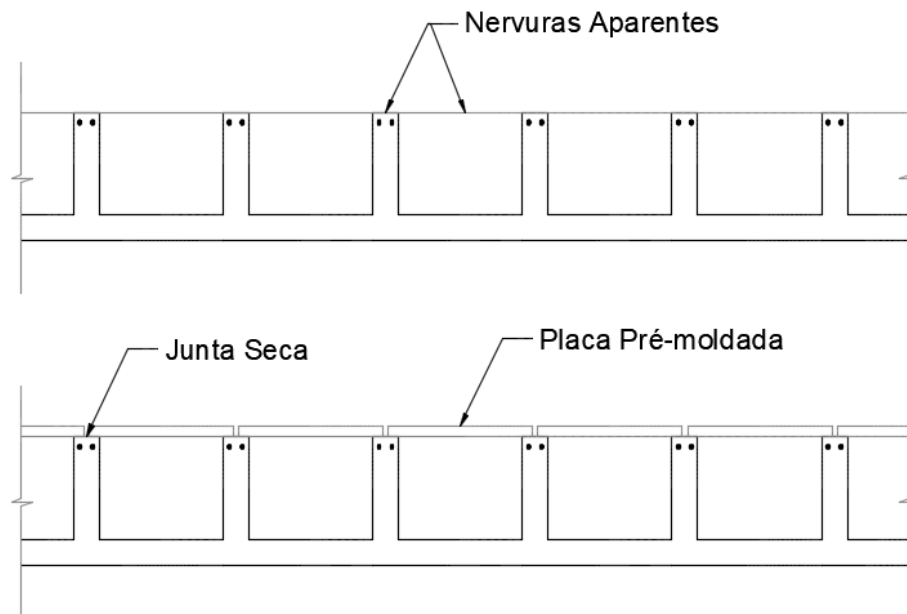
Figura 3 - Lajes com vigotas treliçadas



Fonte: ABNT NBR 14589-1: 2002.

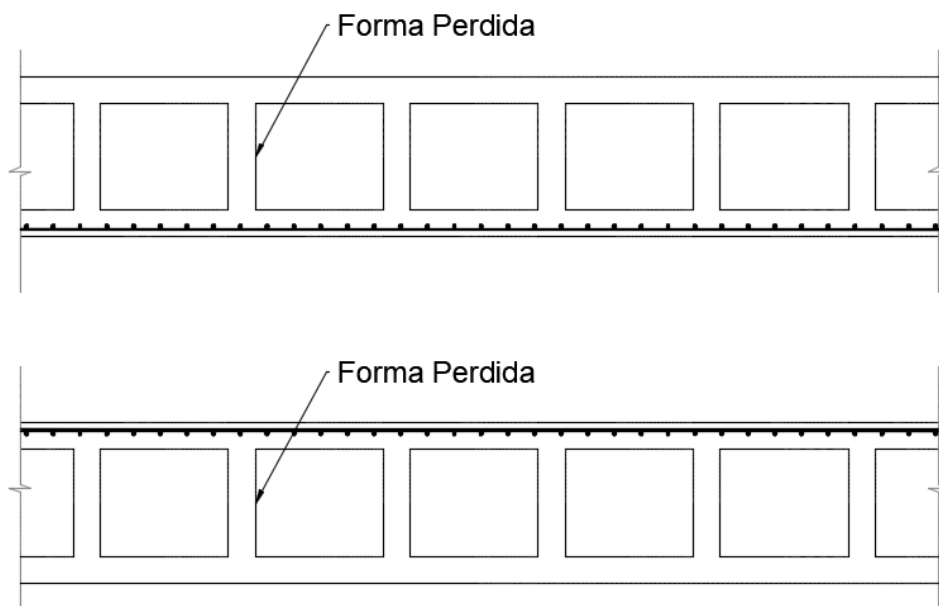
Dentre os tipos de lajes nervuradas, podem ser empregadas diferentes formas de nervuras. Além das nervuras normais, Figuras 1, 2 e 3, as Figuras 4, 5, 6 e 7 exemplificam outros modelos que podem ser utilizados durante a obra: invertida, dupla, meio tubo e estrutubo.

Figura 4 - Laje nervurada invertida



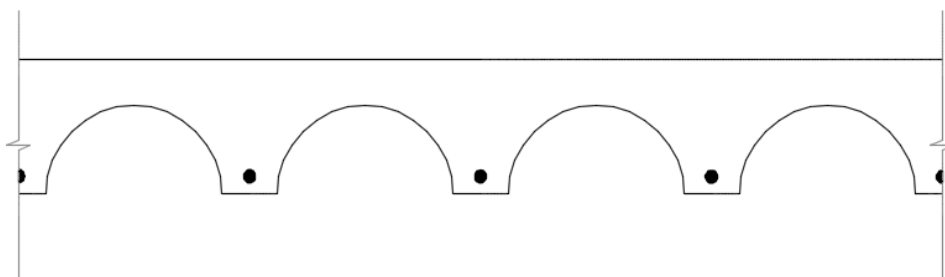
Fonte: JUNIOR (1995).

Figura 5 - Laje nervurada dupla



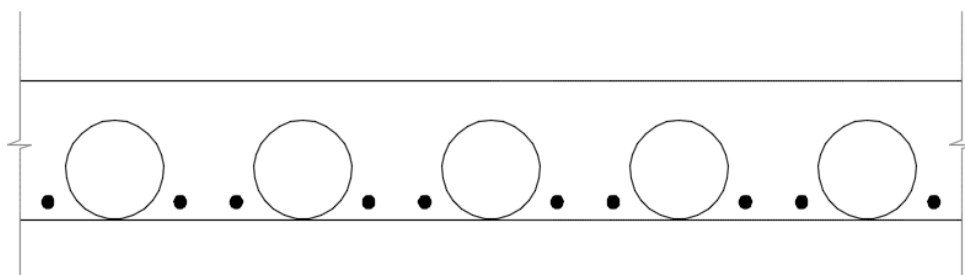
Fonte: JUNIOR (1995).

Figura 6 - Laje nervurada meio tubo



Fonte: JUNIOR (1995).

Figura 7 - Laje nervurada estrutubo



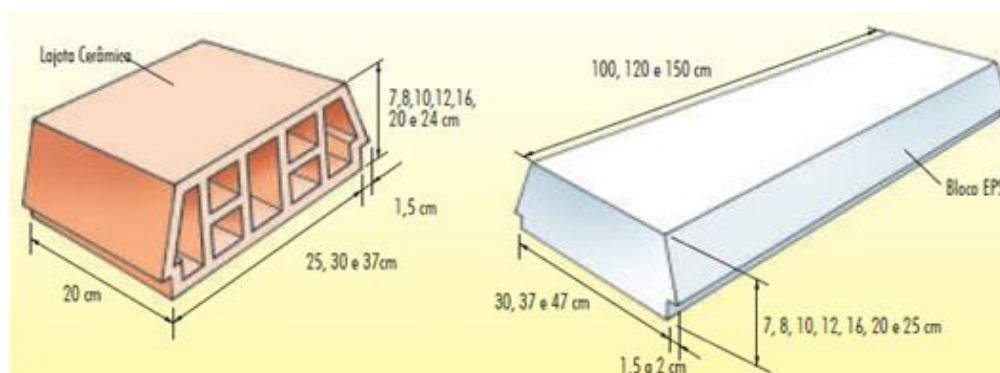
Fonte: JUNIOR (1995).

4.1.2 Elementos de enchimento

De acordo com a ABNT NBR 14589-1:2002, elementos de enchimento são componentes pré-fabricados com materiais inertes sendo maciços ou vazados, intercalados entre as vigotas em geral, com a função de reduzir o volume de concreto, o peso próprio da laje e servir como fôrma para o concreto complementar. São desconsiderados como colaboradores nos cálculos de resistência e rigidez da laje. Além disso, os elementos de enchimento devem ter resistência característica à carga mínima de ruptura de 1,0 kN, suficiente para suportar esforços de trabalho durante a montagem e concretagem da laje.

O tipo de material de enchimento a ser utilizado depende da disponibilidade local, sendo os mais comuns: blocos cerâmicos, blocos de EPS (poliestireno expandido, comumente conhecido por isopor), blocos de concreto celular. A Figura 8 exemplifica dois tipos de elementos de enchimento: bloco cerâmico e bloco de EPS. As medidas citadas são determinadas de acordo com os padrões exigidos pelas normas técnicas e podem variar de acordo com o fabricante do elemento.

Figura 8 - Elementos de enchimento

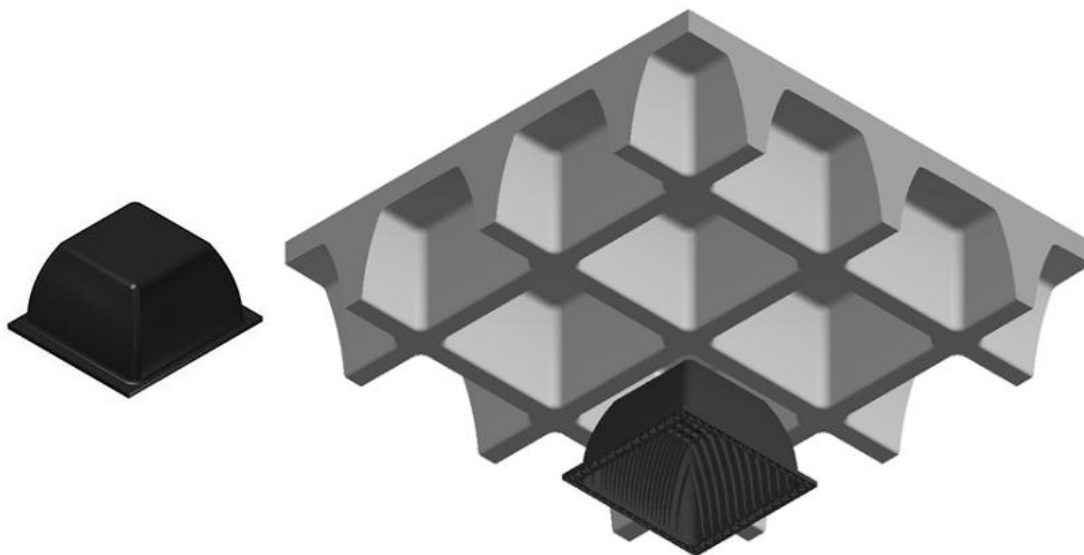


Fonte: GERDAU (2017).

4.1.3 Fôrmas de polipropileno

Optando-se por permanecerem vazios entre as nervuras, indica-se o uso de fôrmas removíveis em toda a laje. Atualmente são utilizadas fôrmas plásticas, que são encontradas com variadas dimensões. Elas são de fácil manuseio e simples de serem retiradas - resultando em ótimos acabamentos – não incorporando peso a laje. A Figura 9 detalha um dos modelos dessas fôrmas.

Figura 9 - Detalhe de molde de fôrma de polipropileno



Fonte: ATEX (2017).

4.2 Considerações para projetos de lajes nervuradas

4.2.1 Prescrições normativas

As normas são leis utilizadas para padronizar, e indicam um padrão de qualidade. Seguir as normas de publicação da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é importante para não existirem conflito e a padronização ajuda ainda na comparação de pesquisas relacionadas a um mesmo assunto (IESLA, 2017).

Neste tópico, serão apresentadas as principais indicações contidas na ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14859-1:2002 e ABNT NBR 14859-2:2002 sobre lajes nervuradas de concreto armado.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, a espessura da mesa de lajes nervuradas, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm. Quando existirem tais tubulações com diâmetro menor ou igual a 10 mm, a espessura da mesa deve ser no mínimo igual a 5 cm. Para tubulações com diâmetro Φ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4 \text{ cm} + \Phi$, ou $4 \text{ cm} + 2 \Phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações.

A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm e nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

Para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições (ABNT NBR 6118:2014):

- a) Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- b) Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;
- c) Para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maiores que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

Já as lajes com apenas nervuras unidirecionais devem ser calculadas segundo a direção das nervuras, desprezadas a rigidez transversal e a rigidez à torção.

A ABNT NBR 14589-1:2002 indica que em função das alturas padronizadas dos elementos de enchimento, as alturas totais das lajes pré-fabricadas devem ser iguais às prescritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Altura total da laje

Altura do elemento de enchimento (cm)	Altura total da laje (cm)
7,0	10,0; 11,0; 1,0
8,0	11,0; 12,0; 13,0
10,0	14,0; 15,0
12,0	16,0 ; 17,0
16,0	20,0; 21,0
20,0	24,0 ; 25,0
24,0	29,0; 30,0
29,0	34,0; 35,0

Fonte: ABNT NBR 14589-1: 2002.

A resistência característica à compressão será a especificada pelo projeto estrutural, sendo exigida no mínimo classe C20 e os intereixos mínimos variam em função do tipo da vigota e das dimensões do elemento de enchimento, sendo os mínimos padronizados os estabelecidos da Tabela 2.

Tabela 2 - Intereixos mínimos padronizados

Tipo de vigota	Intereixos mínimos padronizados (cm)
VC	33,0
VP	40,0
VT	42,0

Fonte: ABNT NBR 14589-1: 2002.

Além das normas ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos), ABNT NBR 14589-1:2002 (Laje pré- fabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais) e ABNT NBR 14589-2:2002 (Laje pré- fabricada – Requisitos. Parte 2: Lajes bidirecionais), outras normas que foram seguidas são: ABNT NBR 6120:1980 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimentos), ABNT NBR 6123:1998 (Forças devidas ao vento em edificações – Procedimentos), ABNT NBR 8681:2003 (Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos).

4.2.2 Ações a considerar nas lajes dos edifícios

As ações normalmente consideradas nas lajes dos edifícios podem ser divididas em três tipos: ações permanentes diretas, ações permanentes indiretas e ações variáveis.

As ações permanentes diretas são: o peso próprio estrutural; peso de revestimentos, contrapiso, pisos; peso de elementos fixos; peso de enchimento; peso de alvenaria sobre a laje. Retração e fluência do concreto, bem como a protensão podem se consideradas como ações permanentes indiretas. Já as ações variáveis são as cargas acidentais (carregamentos em função do uso da edificação) e as ações durante a construção.

4.3 Vantagens e desvantagens

A laje nervurada surgiu como uma alternativa à laje maciça, visto que substitui o concreto fissurado abaixo da linha neutra por materiais de enchimento, sem colaborar com a

resistência, concentrando a resistência à tração nas nervuras. Essa eliminação do concreto propicia uma redução no peso próprio e um melhor aproveitamento do aço e do concreto. Além disso, o emprego das lajes nervuradas simplifica a execução e permite a industrialização, com redução de perdas e aumento da produtividade, racionalizando a construção. Segundo CONSTRUINDO (2017), outras vantagens do emprego da laje nervurada são: liberação de grandes vãos; versatilidade, podendo ser utilizada em edificações comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares, entre outras; durabilidade e segurança, pois não sofrem corrosão precoce; isolamento térmico e acústico graças ao material do elemento de enchimento.

O aumento da altura total da edificação, exigência de maior atenção durante a concretagem a fim de evitar vazios nas nervuras, dificuldade em fixar os elementos de enchimento, são alguns exemplos de desvantagens da laje nervurada quando comparada à maciça.

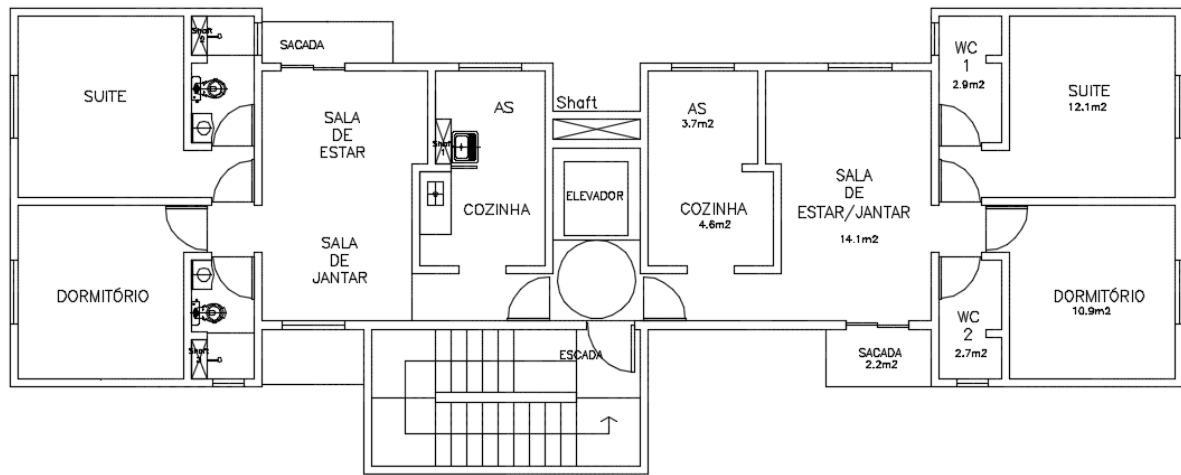
5 Projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico é composto por um conjunto de elementos gráficos como linhas, círculos, textos, que têm como objetivo apresentar as características da obra. Em tal projeto é possível observar a disposição dos cômodos, bem como as limitações do lançamento estrutural, determinantes para o lançamento de pilares, vigas e lajes.

É de extrema importância que se faça a compatibilização dos projetos arquitetônicos e estrutural para eliminar interferências físicas e perdas de funcionalidade da edificação. Dessa forma, fazendo-se a compatibilização é possível otimizar e simplificar a execução, fazendo com que o tempo de construção seja melhor aproveitado.

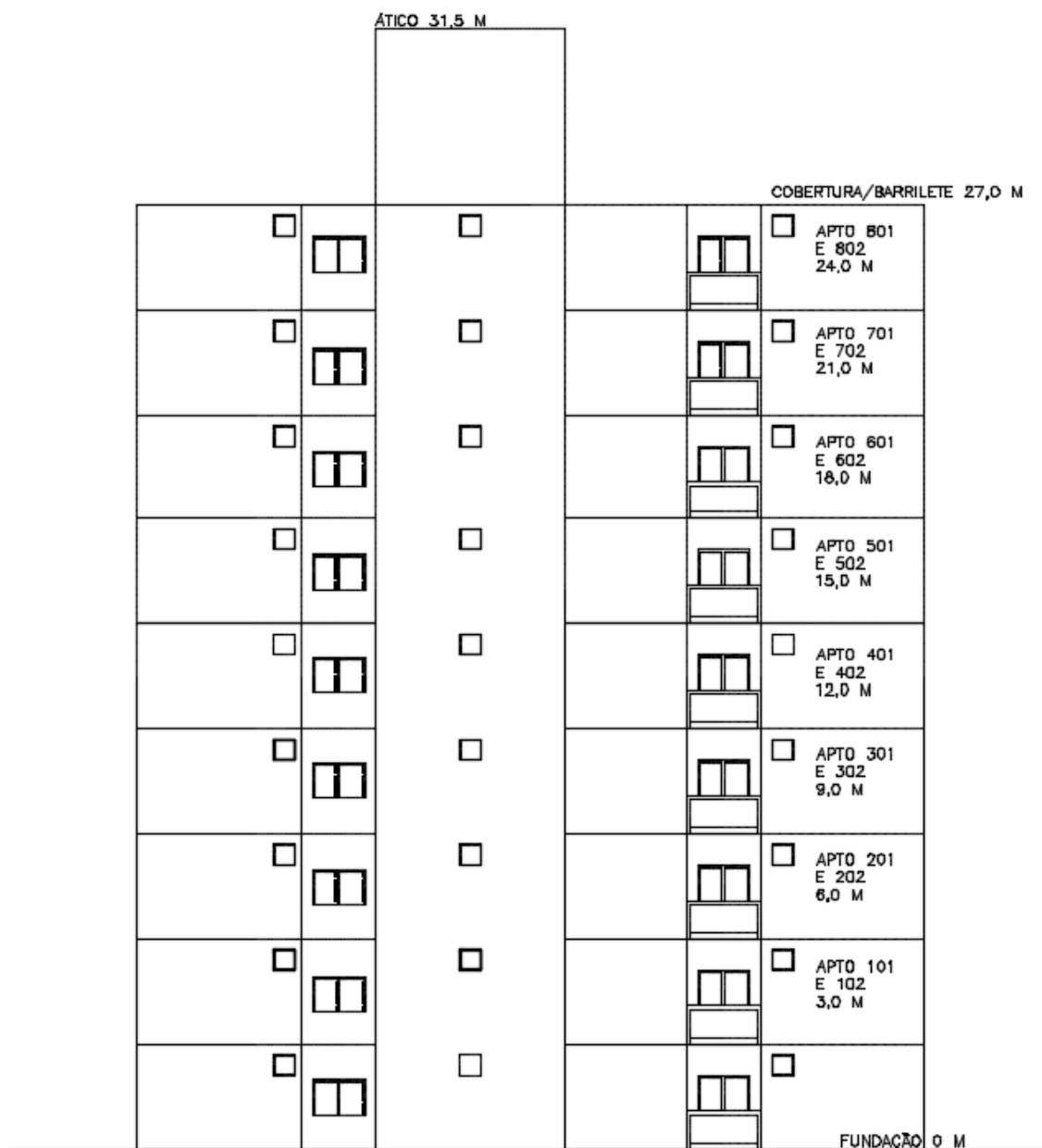
O projeto arquitetônico utilizado foi disponibilizado para estudo na disciplina Projeto de Integração de Conteúdos IV (PIC IV) do primeiro semestre de 2017, do curso de graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Uberlândia. A planta baixa e o corte esquemático podem ser observados nas Figuras 10 e 11, respectivamente. O edifício é composto por fundação, oito pavimentos, cobertura e ático. Durante o lançamento da estrutura não foi preciso alterar o projeto arquitetônico em questão. O projeto foi apenas disponibilizado para experiência acadêmica, não sendo executado.

Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo



Fonte: PIC IV (2017).

Figura 11 - Corte esquemático do edifício



Fonte: PIC IV (2017).

6 O programa CAD/TQS

Atualmente, as etapas de concepção de um projeto são muito influenciadas pelo uso da tecnologia devido à enorme produtividade e eficiência. Para que um projeto estrutural seja considerado bom deve-se atender a alguns requisitos de qualidade. Portanto o projeto deve ter desempenho em serviço, funcionalidade, capacidade resistente garantindo a segurança, durabilidade, construtibilidade e integração com outras áreas.

Durante o Trabalho de Conclusão de Curso, fez-se uso do programa CAD/TQS, desenvolvido pela empresa nacional TQS Informática Ltda., destinado à elaboração de projetos de concreto armado, protendido e em alvenaria estrutural. O CAD/TQS é um conjunto de ferramentas para cálculo, dimensionamento, detalhamento e desenho de estruturas. É uma ferramenta onde o engenheiro pode desenvolver o projeto estrutural de concreto armado com segurança, qualidade e produtividade de tal forma que sua atuação seja competitiva no mercado de projetos (TQS, 2017).

Segundo TQS (2017), o funcionamento do sistema CAD/TQS pode ser resumido nas seguintes etapas:

- O engenheiro/usuário do sistema cria a estrutura, isto é, define a posição e a dimensão dos elementos estruturais bem como as ações que atuarão na estrutura;
- Com base no lançamento, o sistema gera e calcula automaticamente modelos matemáticos, compostos por grelhas e pórticos espaciais, que simulam o comportamento de toda a estrutura;
- Através de visualizadores gráficos específicos que mostram diagramas de esforços e deslocamentos, bem como de relatórios detalhados, o engenheiro analisa e interpreta os resultados oriundos do processamento;
- De acordo com os esforços obtidos, o sistema automaticamente dimensiona e detalha as armaduras necessárias em cada um dos elementos estruturais;
- Através de editores especiais o engenheiro pode otimizar e refinar o dimensionamento e detalhamento das armaduras em certos elementos;
- Todo o conjunto de desenhos é rapidamente organizado pelo sistema, que posteriormente podem ser impressas ou plotadas.

O funcionamento do sistema aqui citado, bem como os processos seguidos para a execução do projeto, pode ser resumido de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 12.

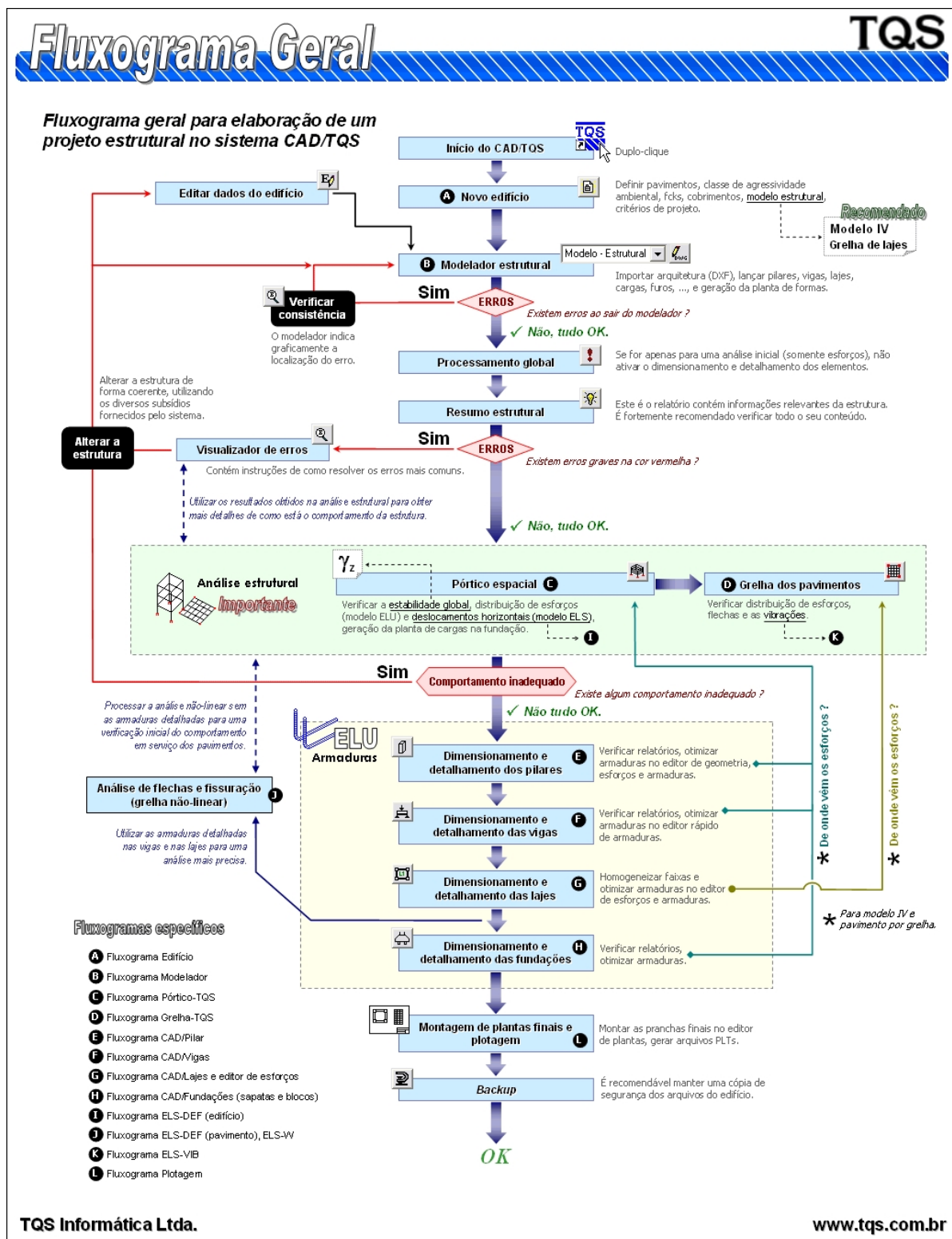
No CAD/TQS existem subsistemas que são partes semi-independentes de entrada, processamento e saída de dados. O gerenciador, o editor de aplicações gráficas, o CAD/Formas, o Grelha-TQS, o Pórtico-TQS, o CAD/Lajes, o CAD/Vigas, o CAD/Pilares, o CAD/Fundações, o Escadas-TQS, o CAD/Alvest (para dimensionamento e detalhamento de alvenaria estrutural), o CAD AGC-DP (para edição de armaduras), o TQS-PREO (para

dimensionamento de elementos pré-moldados) e o SISES (para análise de interação solo estrutura) constituem tais subsistemas.

O CAD/TQS é distribuído em diversas versões, com diferentes limitações. O sistema disponibilizado pelo escritório onde foi realizado o TCC foi o CAD/TQS Pleno. Nessa versão pode-se lançar edificações de até 80 pavimentos, com até 600 pilares por edifício, 600 vigas por pavimento e 1000 lajes por pavimento.

Deve-se sempre lembrar que o programa computacional funciona apenas como uma ferramenta de trabalho a serviço do engenheiro, a geração do detalhamento não implica em um projeto correto. Cabe ao engenheiro validar tanto os dados de entrada quanto os resultados obtidos, alterando o detalhamento gerado ou incluir novas armaduras para garantir o correto funcionamento da estrutura.

Figura 12 - Fluxograma geral do sistema CAD/TQS



Fonte: TQS (2017).

7 Concepção estrutural

A concepção estrutural de um edifício consiste de um arranjo adequado dos vários elementos estruturais com a finalidade de assegurar o atendimento às várias finalidades para as quais foi projetado, formando um conjunto resistente. Deve-se sempre atender aos aspectos de segurança, economia e durabilidade.

A princípio, realizou-se um pré-dimensionamento da estrutura de forma a determinar as dimensões das seções dos elementos estruturais. Após análise inicial, fez-se os ajustes necessários determinando a geometria final e o carregamento. Toda a estrutura foi concebida em concreto armado sendo o primeiro edifício calculado feito com lajes maciças. Tal edifício foi feito como base para comparações posteriores com edifícios de lajes nervuradas.

A criação de um edifício no programa é feita de forma simples. O primeiro passo é inserir os dados da edificação: nome do edifício, nome do cliente, endereço da obra, dados do projetista, tipo de estrutura. A Figura 13 exemplifica a tela onde os dados são inseridos.

Figura 13 - Inserção de dados da edificação

The screenshot shows the TQS software interface for entering building data. On the left, a schematic cross-section of a building is displayed, showing multiple floors and columns. The right panel contains the 'Identificação' (Identification) tab, which includes the following fields and options:

- Identificação**
 - Título do edifício: Projeto base TCC
 - Título do cliente: UFU
 - Endereço da obra: João Naves
 - Número do projeto: 1000
 - Prefixo de plantas: 1
- Norma em uso**
 - NBR-6118:2014
- Descrição do projeto**
 - (Empty text area for project description)
- Tipo de estrutura**
 - ☒ Concreto Armado/Protendido
 - ☐ Alvenaria Estrutural
 - ☐ Projeto de formas de madeira
- Avançado...** (Button)
- Metadata**
 - Criado por: AYRES DE LIMA ALVES S/C LTDA
 - Criado em: 29/08/2017 09:51:25
 - Modificado em: 19/10/2017 10:11:28
 - TQS V19.10.46
- Footer**
 - Este título identificará todos os processamentos globais
 - Pronto
 - Ok
 - Cancelar

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

O modelo estrutural utilizado no edifício foi o modelo de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios. De acordo com TQS (2017), esse modelo utiliza um pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos (vigas contínuas ou grelhas). O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares são calculados com o pórtico espacial. Nas lajes, somente os efeitos gerados pelas ações verticais são calculados, de acordo com o modelo selecionado para os pavimentos. Nos pavimentos simulados por grelhas de lajes, os esforços resultantes das barras de lajes sobre as vigas são transferidos como cargas para o pórtico espacial, ou seja, há uma certa integração entre ambos os modelos (pórtico espacial e grelhas). Para os demais tipos de modelos de pavimentos, as cargas das lajes são transferidas para o pórtico por meio de quinhões de carga. Além disso, a estrutura se comporta como um corpo único, sem juntas ou torres separadas.

Foram definidos 11 pavimentos, denominados da seguinte forma: fundação, Pav 1, Pav 2, Pav 3, Pav 4, Pav 5, Pav 6, Pav 7, Pav 8, cobertura e ático. Para o lançamento dos pavimentos define-se a altura do pé-direito, sua função e, quando houver, os pavimentos auxiliares (rebaixos, patamares de escadas, entre outros). Na Tabela 3 é possível observar as definições.

Tabela 3 - Definição dos pavimentos do edifício

Título	Pé-direito (m)	Modelo estrutural	Elementos inclinados/ pisos auxiliares	Rebaixo do piso (m)
Fundação	0	Grelha de lajes planas	Não	-
Pav 1	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Pav 2	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Pav 3	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Pav 4	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Pav 5	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Pav 6	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Pav 7	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Pav 8	3	Grelha de lajes planas	Sim	1,465
Cobertura	3	Grelha de lajes planas	Não	-
Ático	4.5	Grelha de lajes planas	Não	-

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

O próximo dado a ser lançado são os materiais. No CAD/TQS é possível selecionar a resistência do concreto para cada elemento estrutural, o fck escolhido para os elementos estruturais foi Classe C40, ou seja, 40 MPa.

A agressividade ambiental está relacionada com as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto e essa deve ser avaliada de acordo com a Tabela 4. A utilizada no projeto foi a classe de agressividade ambiental II.

Tabela 4 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014.

Na Tabela 5 e na Tabela 6 é possível observar os cobrimentos adotados para os elementos estruturais.

Tabela 5 - Cobrimentos adotados para os elementos estruturais

Cobrimentos (cm)		
	Inferior	Superior
Lajes em geral	2,5	2,5
Lajes protendidas	3,5	3,5
Vigas	3	-
Pilares	3	-
Fundações	3	-

Fonte: Autora (2017).

Tabela 6 - Cobrimentos adotados para os elementos em contato com o solo

Cobrimento de elementos em contato com o solo (cm)	
Vigas e lajes	3
Pilares	4,5

Fonte: Autora (2017).

Para as cargas verticais foram utilizadas as já configuradas no programa, as quais estão de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. O ponderador de ações γ_f do ELU foi 1,4 e os fatores de redução de sobrecargas do ELU e ELS podem ser observados na Tabela 7. Para as cargas acidentais consideraram-se locais onde não há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas.

Tabela 7 - Fatores de redução de sobrecargas ELU e ELS

	ELU
Ψ_0	0,5

	ELS
Ψ_1	0,4

	ELS
Ψ_2	0,3

Fonte: Autora (2017).

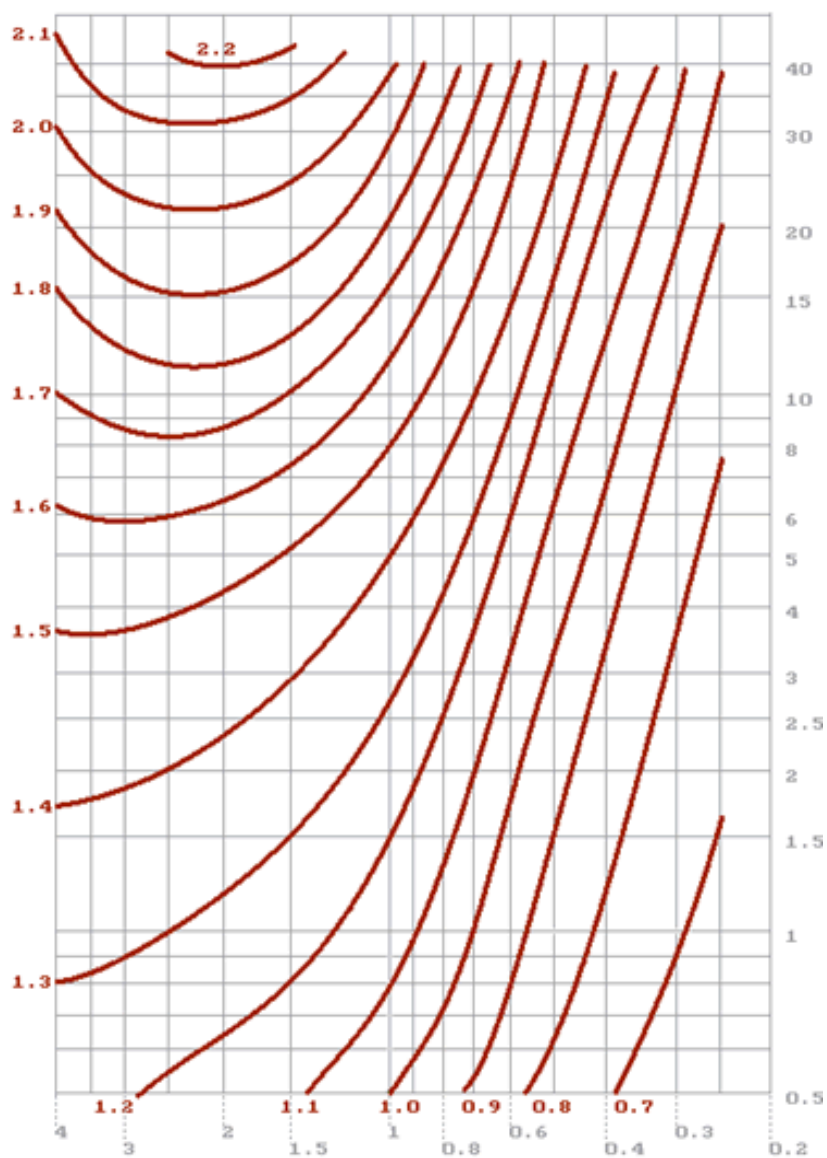
Os valores dos coeficientes de arrasto calculados podem ser encontrados na Tabela 8. Tais valores foram calculados levando-se em conta o ábaco da Figura 14, extraído da ABNT NBR 6123:1988.

Tabela 8 - Coeficientes de arrasto

Ângulo	Coefficiente de Arrasto
90	1,36
270	1,36
0	0,91
180	0,91

Fonte: Autora (2017).

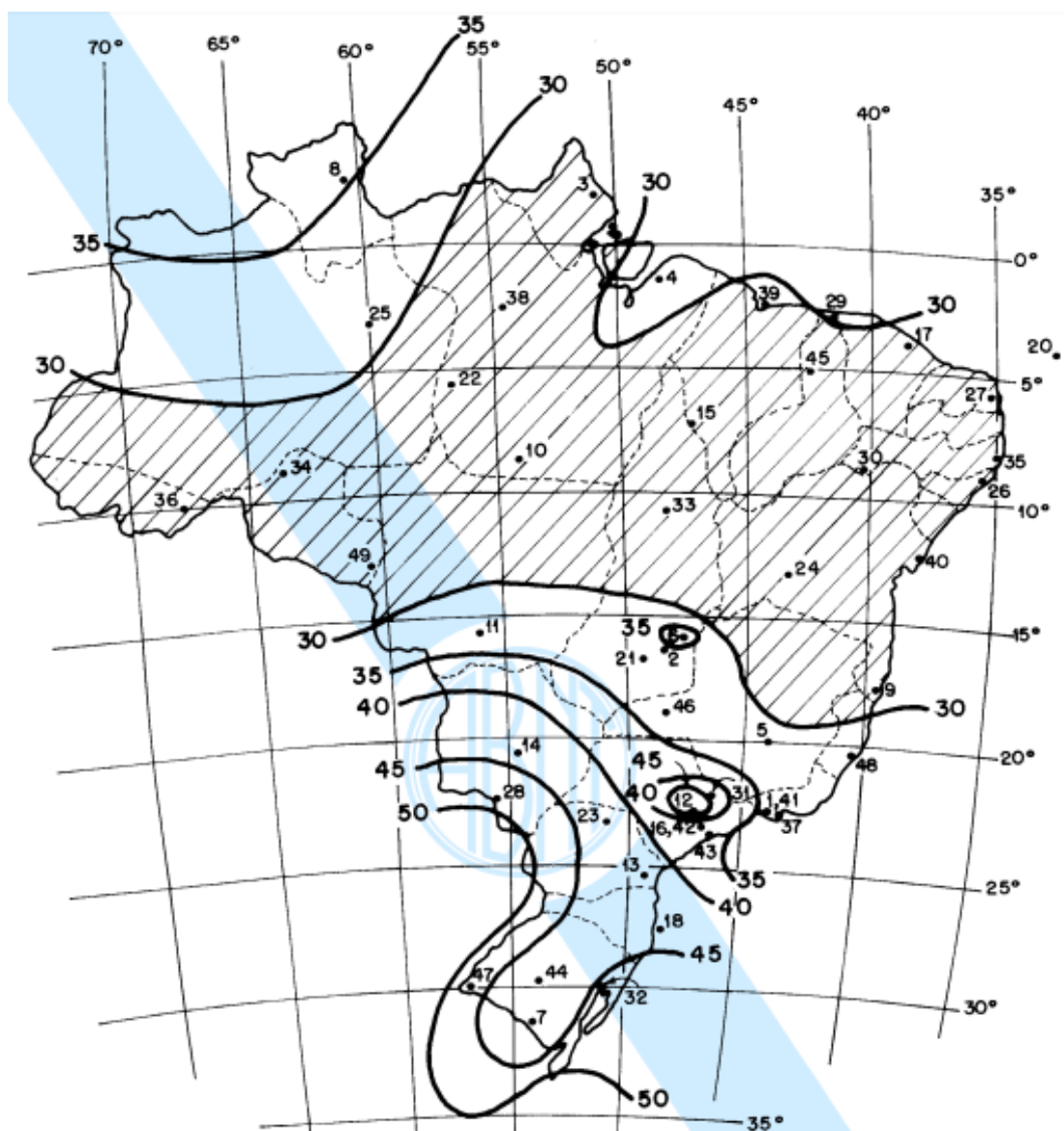
Figura 14 - Ábaco para cálculo do coeficiente de arrasto



Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

A velocidade básica do vento utilizada foi a da cidade de Uberlândia de aproximadamente 34 m/s, com base nas isopletoas da ABNT NBR 6123:1988, Figura 15. O terreno foi considerado como plano ou fracamente acidentado. Dessa forma, o fator topográfico S_1 foi igual a 1,0. Levando-se em consideração que o edifício seria construído em subúrbios densamente construídos, o fator S_2 de rugosidade do terreno foi considerado de Categoria IV. O edifício em questão é Classe B visto que a maior dimensão horizontal ou vertical está entre 20 m e 50 m. Como a edificação é residencial o fator estatístico S_3 foi considerado igual a 1,0.

Figura 15 - Isopletas da velocidade básica (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

As configurações de critério e gerenciamento não foram alteradas por estarem de acordo com as prescrições normativas.

8 Definição dos elementos estruturais

Após definido os dados gerais, o modelo, os pavimentos, os materiais, os cobrimentos, as cargas, os critérios e o gerenciamento, pode-se então definir a estrutura inicial da edificação. Toda a entrada de dados do lançamento é feita de forma gráfica, adicionando pilares, vigas,

lajes, cargas, furos entre outros. O lançamento dentro do Modelador Estrutural do CAD/TQS é feito de forma simples, de modo a agilizar o trabalho e fazer com que haja uma maior produtividade durante esta etapa. As diretrizes adotadas buscavam atender às condições estéticas definidas no projeto arquitetônico, buscar uniformidade quanto à geometria dos elementos estruturais, o posicionamento dos elementos estruturais era feito com base no comportamento primário dos mesmos. O processo de lançamento começou a partir da inserção do desenho arquitetônico e então o posicionamento dos pilares, vigas, lajes e escadas.

8.1 Pilares

Para o posicionamento dos pilares buscou-se que suas dimensões fossem iguais a da alvenaria utilizada de modo a evitar cortes e dentes na área comum. Nem sempre os dentes na alvenaria puderam ser evitados. Quando não evitados, buscou-se posicionar tais pilares em áreas de menor fluxo, como por exemplo, nas bonecas das portas. Inicialmente os pilares tiveram dimensões de 14 x 30 cm, sem um pré-dimensionamento. Após o processamento global, as dimensões dos pilares foram mudadas de modo a resistir aos esforços solicitantes. As dimensões de todos os pilares podem ser observadas na Tabela 9. Procurou-se que os lançamentos dos pilares fossem feitos de forma simétrica, para evitar a implantação de vigas de transição, e das extremidades para as áreas comuns. Além disso, a partir do quinto pavimento, pilar P23 em diante, diminuem-se as dimensões dos pilares em no máximo 40% da dimensão original. A planta do quinto pavimento foi utilizada para exemplificar o posicionamento dos pilares, Figura 16.

Tabela 9 - Dimensão dos pilares

Título	Formato	Dimensão (cm)
P1	Retangular	16x50
P2	Retangular	16x50
P3	Retangular	14x60
P4	Retangular	14x60
P5	Retangular	15x45
P6	Retangular	15x40
P7	L	35x14
P8	L	35x14

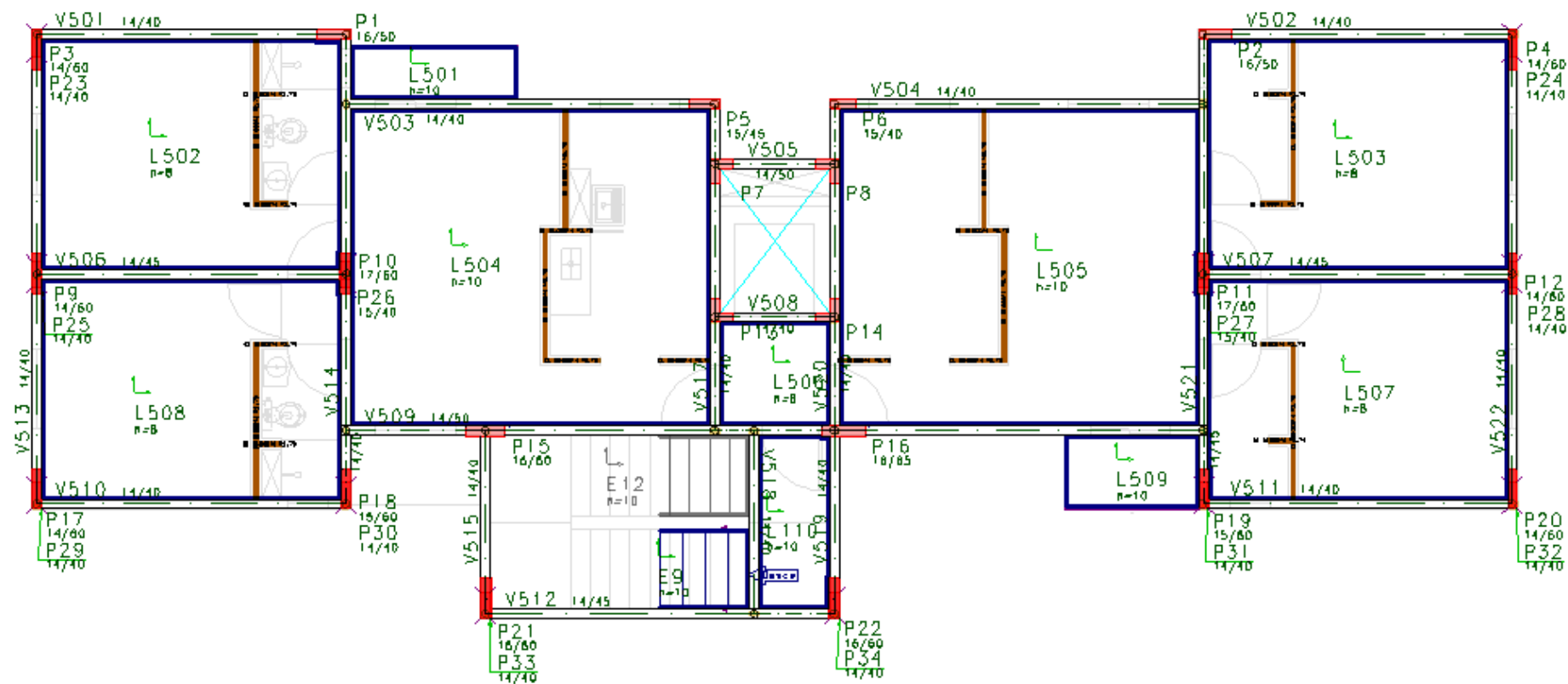
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 9 - Continuação da dimensão dos pilares

Título	Formato	Dimensão (cm)
P9	Retangular	14x60
P10	Retangular	17x60
P11	Retangular	17x60
P12	Retangular	14x60
P13	L	35x14
P14	L	35x14
P15	Retangular	16x60
P16	Retangular	16x65
P17	Retangular	14x60
P18	Retangular	15x60
P19	Retangular	15x60
P20	Retangular	14x60
P21	Retangular	16x60
P22	Retangular	16x60
P23	Retangular	14x40
P24	Retangular	14x40
P25	Retangular	14x40
P26	Retangular	15x40
P27	Retangular	15x40
P28	Retangular	14x40
P29	Retangular	14x40
P30	Retangular	14x40
P31	Retangular	14x40
P32	Retangular	14x40
P33	Retangular	14x40
P34	Retangular	14x40
P35	Retangular	14x30
P36	Retangular	14x30

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 16 - Posicionamento dos pilares, vigas e lajes do quinto pavimento

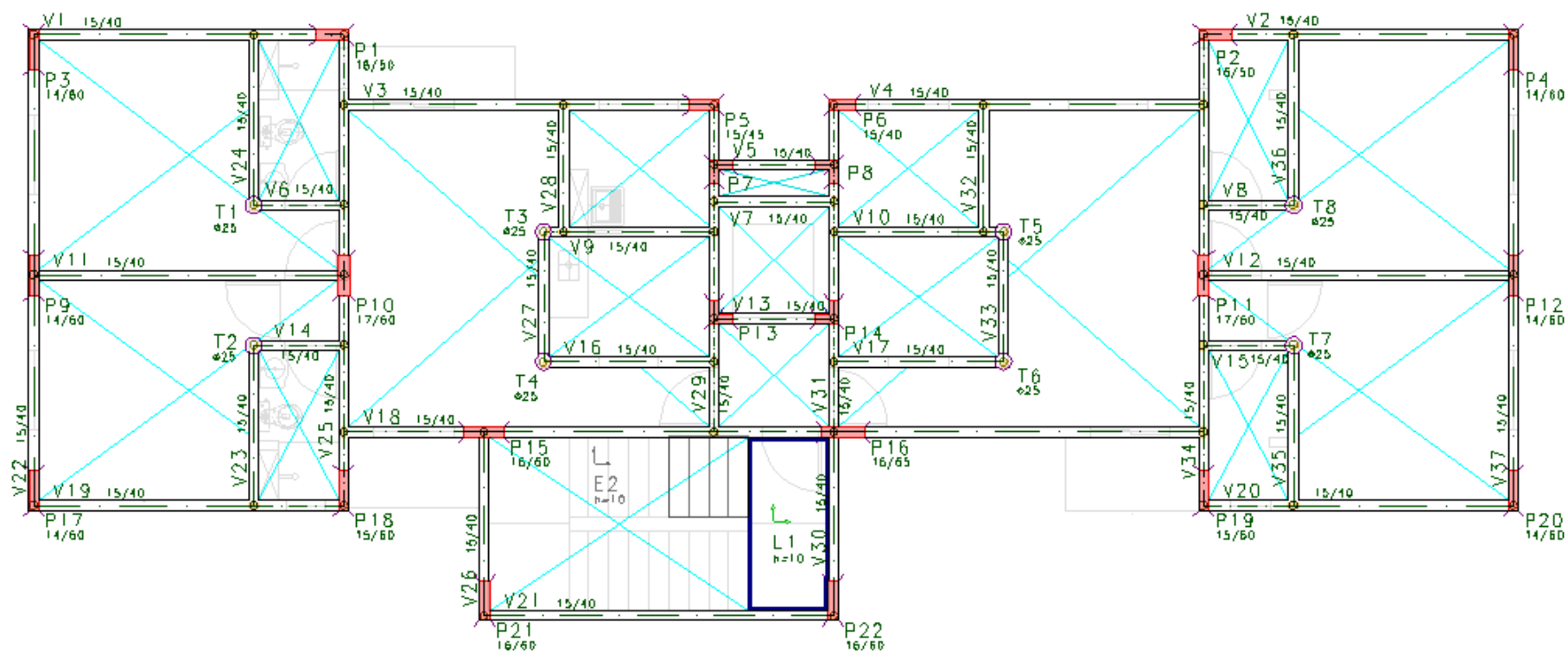


Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

8.2 Vigas

Após a locação inicial dos pilares, as vigas foram posicionadas entre os vãos a fim de formar pórticos para garantir a estabilidade da estrutura. Todas as vigas foram lançadas com 14 cm de largura, respeitando-se o projeto arquitetônico, e altura de 40 a 50 cm. Na Figura 17 estão exemplificadas as posições das vigas baldrame na planta de fundação, as quais foram dispostas sob as paredes. Nos encontros das vigas onde não foram dispostos pilares, alocou-se tubulões de 25 cm de diâmetro com 3 m de profundidade. A Figura 16 mostra a disposição das vigas no pavimento tipo. Assim foi feita a disposição na planta dividindo-a em lajes da maneira mais coerente possível.

Figura 17 - Posicionamento das vigas baldrame e tubulões

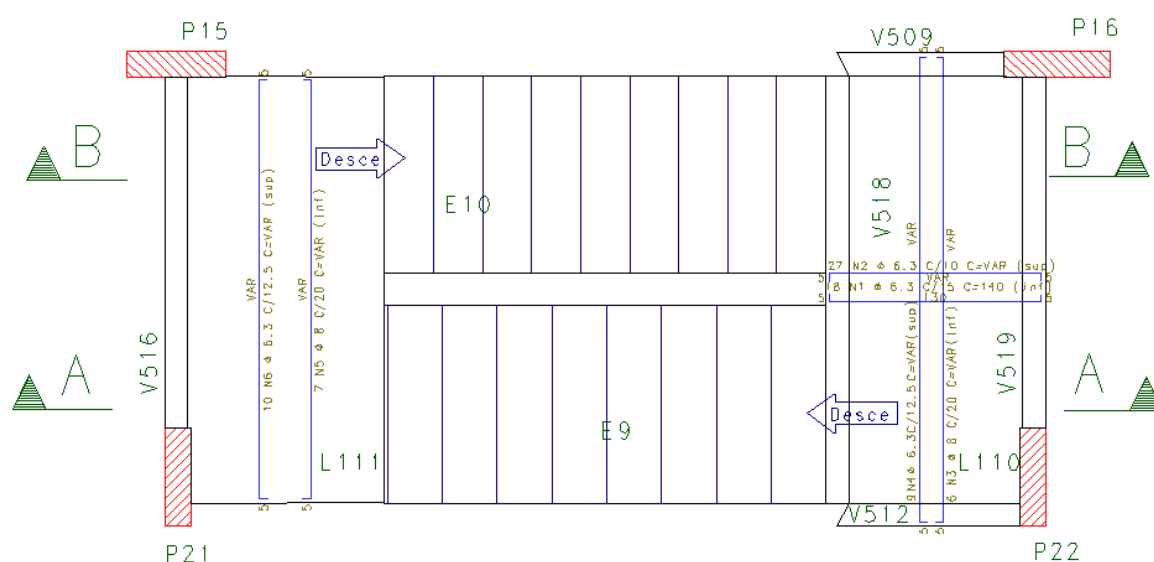


Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

8.3 Escadas

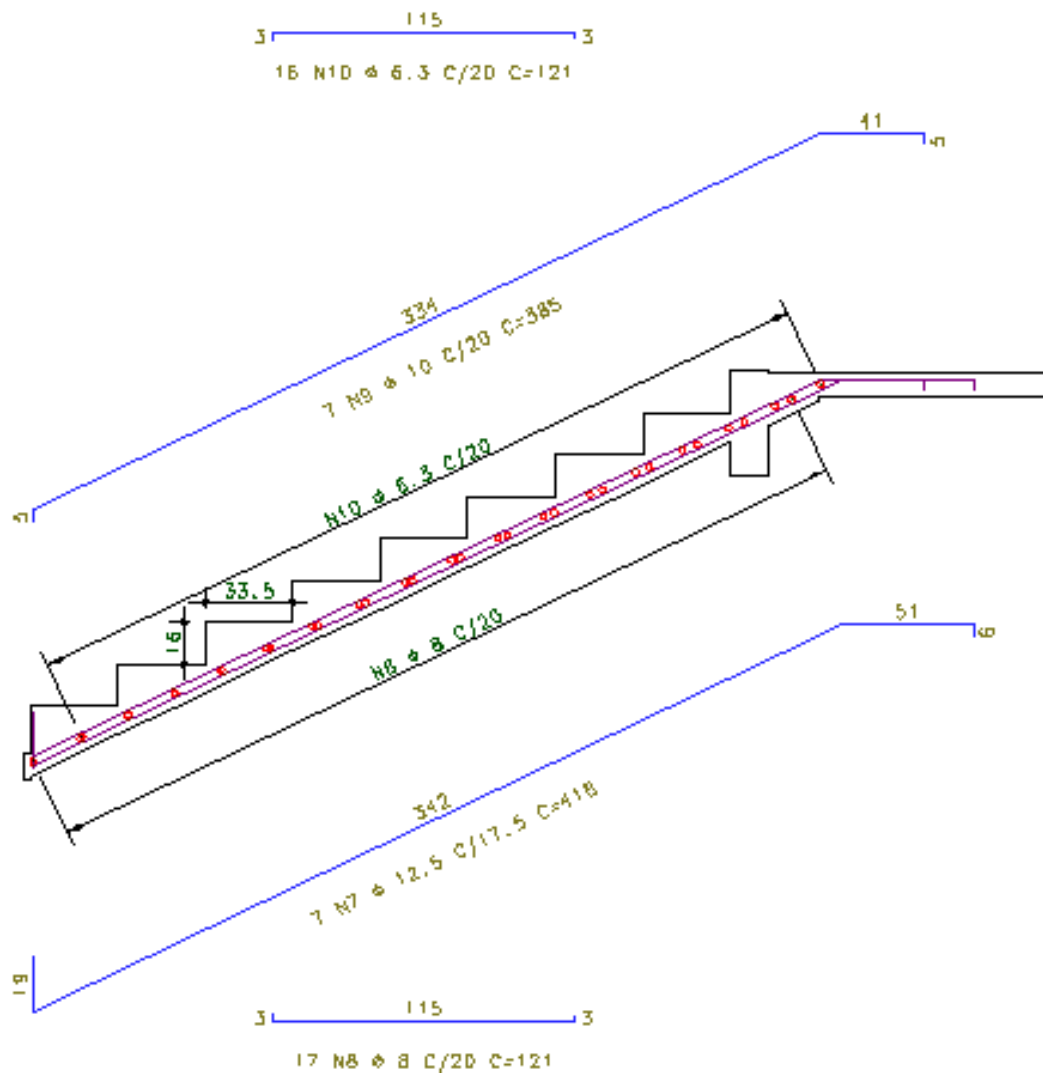
As escadas no CAD/TQS são agrupamentos de lajes e contornos, e não em elementos isolados dentro do Modelador Estrutural. Para lançamento das escadas primeiro foram definidos os patamares, os elementos de apoio e os vão a serem vencidos. Os dados de degraus (passo, espelho) são automaticamente calculados pelo programa depois de inserida a escada, mostrada nas Figuras 18, 19 e 20.

Figura 18 - Planta da escada no pavimento 5



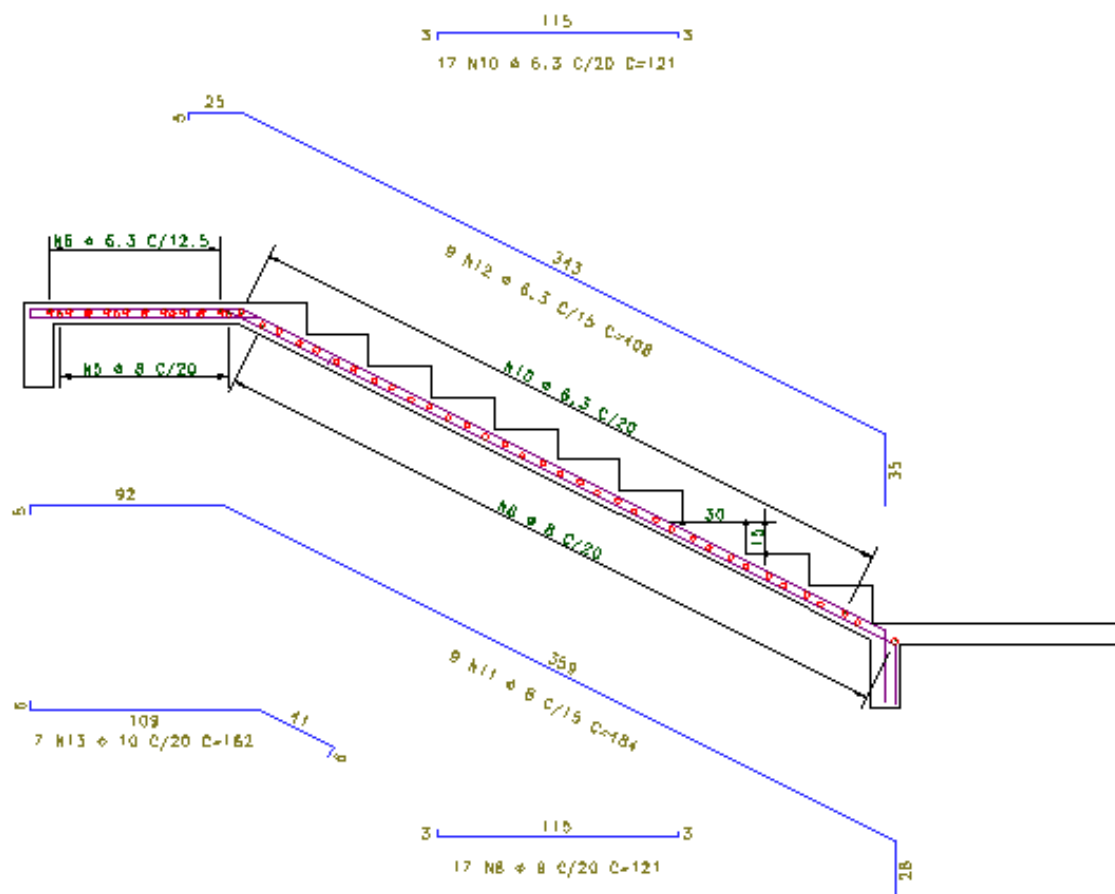
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 19 - Corte AA da escada do pavimento 5 com sua armadura



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 20 - Corte BB da escada do pavimento 5 com sua armadura

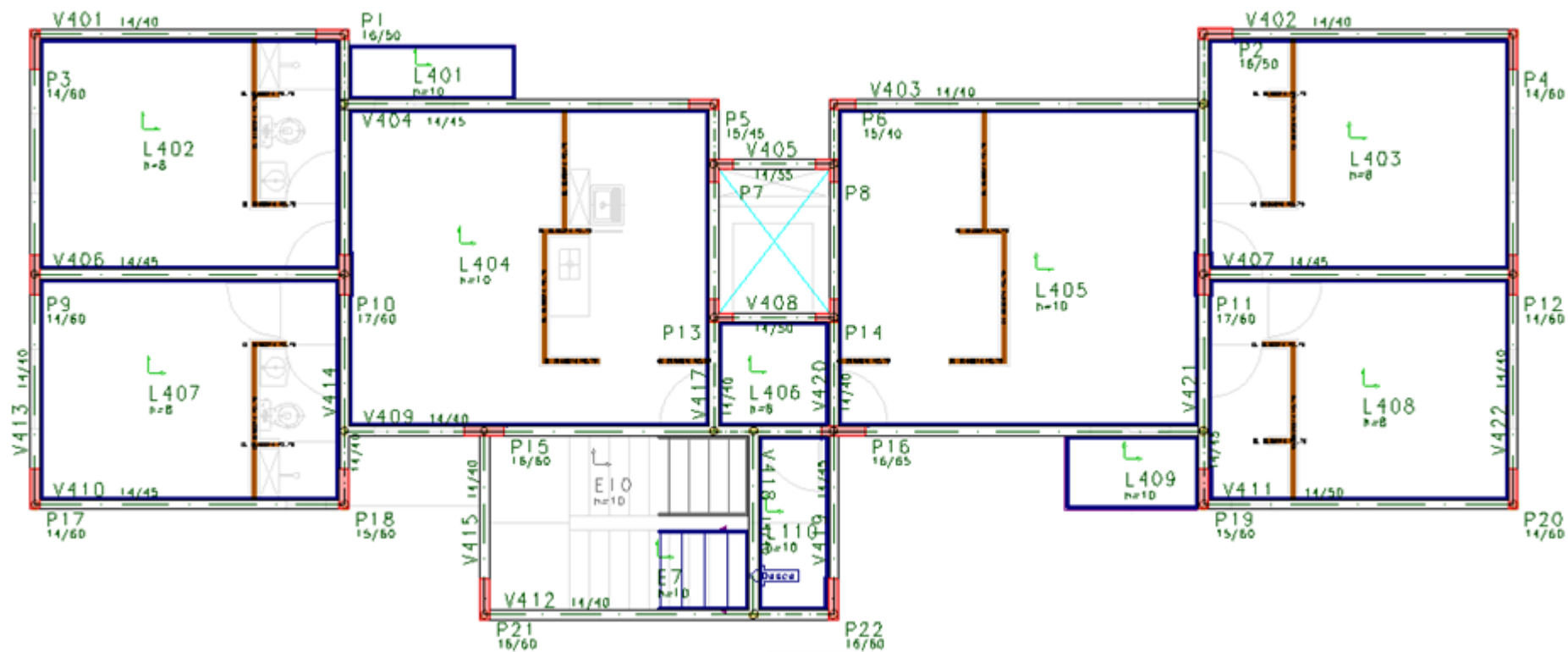


Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

8.4 Lajes maciças

As lajes maciças são lajes de concreto armado com espessura constante. A ABNT NBR 6118:2014 indica que a espessura mínima para lajes para cobertura não em balanço é de 7 cm, para lajes de piso em balanço, 8 cm, para lajes em balanço e lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN, 10 cm, e para lajes que suportem veículos de peso maior que 30 kN, 12 cm. Para o edifício aqui dimensionado, foi adotadas espessuras de 8 cm e 10 cm, a fim de se evitar fissuras e flechas elevadas, além de aumentar o desempenho acústico das mesmas. Evitou-se o lançamento de lajes muito pequenas e adotaram-se formas geométricas simples, para não elevar os custos. As lajes podem ser observadas na Figura 21.

Figura 21- Planta do pavimento 4



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

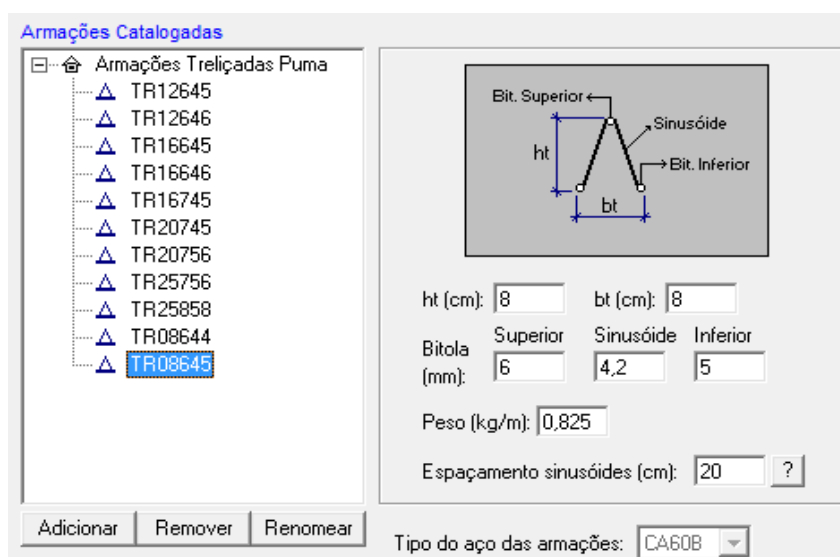
8.5 Lajes nervuradas

Laje nervurada é um sistema construtivo formado por enchimentos ou fôrmas que “ocupam” o lugar do concreto que não desempenharia função estrutural. Assim, pode-se reduzir o peso próprio da laje, vindo a proporcionar economia no dimensionamento estrutural em função das cargas menores. Este sistema permite ao engenheiro projetar vãos maiores com menor consumo de materiais. Para estudo comparativo, foram feitas lajes treliçadas unidirecionais com blocos de enchimento de EPS, lajes treliçadas bidirecionais com blocos de enchimento cerâmicos e de EPS e lajes nervuradas de seções retangulares e trapezoidais.

8.5.1 Lajes unidirecionais treliçadas

Primeiramente, antes de iniciar o projeto fez-se necessário configurar os catálogos de enchimento e armações treliçadas que serão utilizados durante a entrada de dados e o dimensionamento. A Figura 22 exemplifica como são configuradas as armaduras das treliças no programa CAD TQS e a Tabela 10 especifica as características de acordo com as especificações técnicas da GERDAU. A treliça com aço CA-60 nervurado permite melhor aderência ao concreto, ampla capacidade de vencer grandes vãos e suportar altas cargas com segurança. Para todas as armações adotou-se o espaçamento entre sinusóides igual a 20 cm e a base, a distância entre as faces externas entre os fios que compõem o banzo inferior, igual a 8 cm. A seção transversal típica de uma treliça pode ser encontrada na Figura 23.

Figura 22 - Armadura das treliças no programa CAD TQS



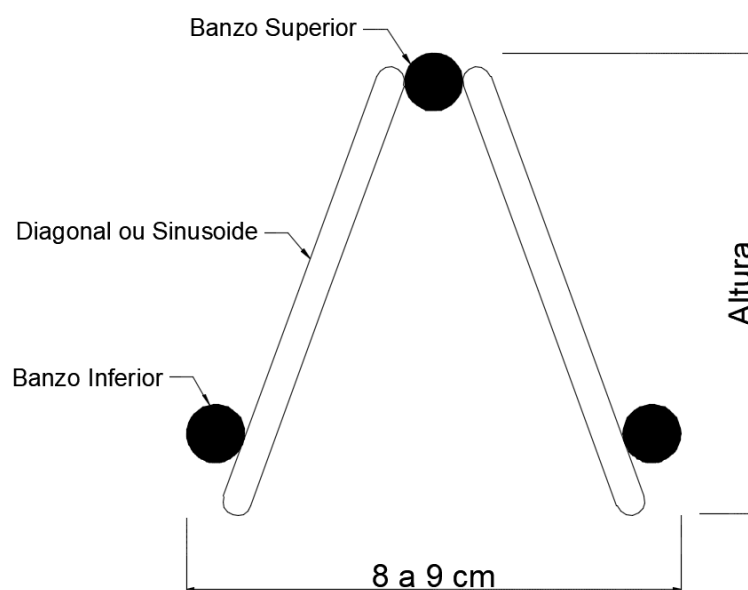
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 10 - Especificações técnicas da armadura

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES AÇO CA-60						
Designação Gerda	Designação	Peso (kg/m)	Altura (cm)	Banzo Superior (mm)	Diagonal (mm)	Banzo Inferior (mm)
TG 8 L	TR 08644	0,735	8	6	4,2	4,2
TG 8 M	TR 08645	0,825	8	6	4,2	5
TG 12 M	TR 12645	0,886	12	6	4,2	5
TG 12 R	TR 12646	1,016	12	6	4,2	6
TG 16 L	TR 16645	0,954	16	6	4,2	5
TG 16 M	TR 16646	1,084	16	6	4,2	6
TG 16 R	TR 16745	1,028	16	7	4,2	5
TG 20 L	TR 20745	1,111	20	7	4,2	5
TG 20 R	TR 20756	1,446	20	7	5	6
TG 25 L	TR 25756	1,602	25	7	5	6
TG 25 R	TR 25858	2,024	25	8	5	8

Fonte: GERDAU (2017).

Figura 23 - Seção típica da treliça



Fonte: Autora (2017).

Feita as configurações das treliças foi possível então alocar as lajes unidirecionais. Para comparar com a laje maciça foram escolhidos blocos de EPS com dimensões de 8 cm x 40 cm x 120 cm. As dimensões da vigota podem ser observadas na Figura 24. A altura de todas as lajes foi igual a 15 cm, pois se adotou capa de 7 cm. Fez-se essa escolha a fim de facilitar o processo construtivo bem como aumentar o desempenho acústico. As lajes das sacadas e dos patamares são maciças, com espessura de 10 cm, de acordo com especificações da ABNT NBR 6118:2014.

Figura 24 - Dados da laje unidirecional

The screenshot shows the TQS software interface for configuring a unidirectional slab. The interface is divided into several sections:

- Vigota (sapata):** Base B: 13 cm, Altura A: 3 cm, Mini-Painel: ☒ Não, ☐ Sim.
- Nervura transversal:** A cada: 1 bloco, Largura: 0 cm, Tamanho: cm.
- Enchimento:** Fabricante: EPS Tuper Unidirecional, Bloco: H08/40/120, Peso específico: 0.018 tf/m3.
- Capa hf:** 7 cm, **Altura H:** 15 cm.
- Largura b1:** 9 cm, **Tamanho t1:** 40 cm.

A diagram on the right shows the cross-section of the slab with dimensions b1, t1, hf, H, and A.

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

8.5.2 Lajes bidirecionais treliçadas

Lajes bidirecionais são lajes com nervuras de travamento a qual é colocada perpendicular à vigota que tem como objetivo dar estabilidade lateral e combater a deformação diferenciada. As configurações das treliças feitas na seção 8.5.1 deste relatório são as mesmas utilizadas para as bidirecionais. Foram utilizados dois tipos de blocos de enchimento: blocos cerâmicos e blocos de EPS.

Todas as lajes de blocos de enchimento de cerâmica foram adotadas com espessura de 12 cm, com 4 cm de capa e enchimentos com dimensões iguais a: 8 cm x 25 cm x 20 cm. As dimensões utilizadas na laje bem como o peso específico do enchimento podem ser observadas na Figura 25.

Figura 25 - Dados da laje bidirecional de enchimento cerâmico

Vigota (sapata) Base B: 13 cm Altura A: 3 cm Mini-Painel: <input checked="" type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sim		Enchimento Fabricante: [Editar] EPS Bidirecional Concreto Cerâmica Bloco: Blo08/25/20 Blo08/30/20 Blo12/30/20 Peso específico: 0.75 tf/m ³		 Capa hf: 4 cm Altura H: 12 cm Largura b1: 9 cm Tamanho t1: 25 cm
Nervura transversal A cada: 1 bloco Largura: 9 cm Tamanho: 20 cm Bidirecional				

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Foram adotados dois tipos de blocos de enchimento de EPS: 8 cm x 40 cm x 49 cm e 10 cm x 50 cm x 59 cm. Dessa forma, como as alturas dos enchimentos são diferentes e o valor da capa continua igual a 4 cm, as espessuras das lajes também foram diferentes: 12 cm e 14 cm, respectivamente. Nas Figuras 26 e 27 podem-se observar os dados destas lajes.

Figura 26 - Dados da laje bidirecional com enchimento de EPS 08/40/49 cm

Vigota (sapata) Base B: 13 cm Altura A: 3 cm Mini-Painel: <input checked="" type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sim		Enchimento Fabricante: [Editar] EPS Tuper Bidirecional EPS Unidirecional EPS Bidirecional Bloco: H08/40/49 H10/40/49 H10/50/59 Peso específico: 0.018 tf/m ³		 Capa hf: 4 cm Altura H: 12 cm Largura b1: 9 cm Tamanho t1: 40 cm
Nervura transversal A cada: 1 bloco Largura: 9 cm Tamanho: 49 cm Bidirecional				

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

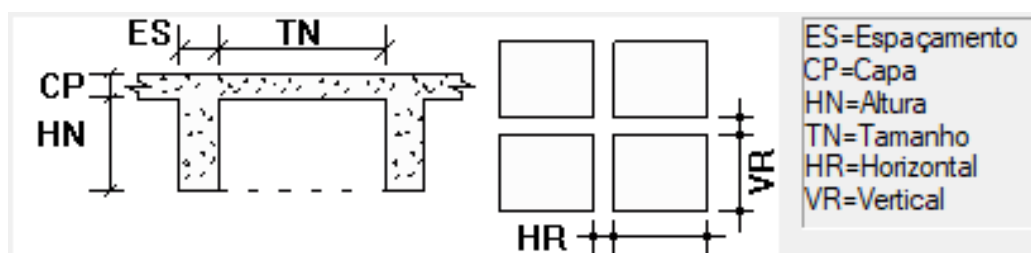
Figura 27 - Dados da laje bidirecional com enchimento de EPS 10/50/59 cm

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

8.5.3 Laje nervurada de seção retangular

A laje nervurada de seção retangular possui as células aparentes, pois as fôrmas de polipropileno são removíveis possibilitando a formação da laje sem material de enchimento. Para esta laje foram utilizadas fôrmas quadradas de 39 cm por 14 cm de altura. A capa foi considerada como 4 cm, resultando em uma espessura total da laje de 18 cm. A Figura 28 exemplifica o formato das células da laje.

Figura 28 - Formato da célula da laje nervurada de seção retangular



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

8.5.4 Laje nervurada de seção trapezoidal

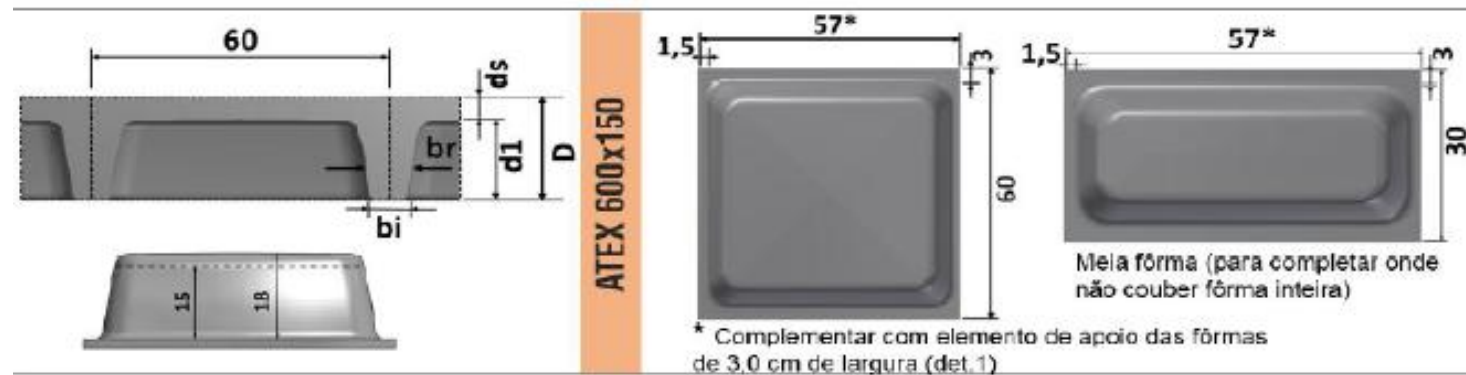
Assim como a laje de seção retangular, a laje de seção trapezoidal também possui as células aparentes, devido às fôrmas de polipropileno serem removíveis. A forma utilizada foi a ATEX 600 150, da empresa ATEX. Todas as especificações bem como as imagens da forma podem ser encontradas na Tabela 11 e Figura 29.

Tabela 11 - Características da forma ATEX 600 150

Altura da forma	Espessura da lâmina	Altura total	Largura da nervura			Área da seção	Distância do CG à		Inércia		Volume do vazio		Peso próprio	Volume de concreto
			Infer.	Super.	Média		Face superior	Face inferior	Inércia p/ nerv.	Altura equivalente				
cm	cm	cm	Cm	cm	cm	cm ²	cm	Cm	cm ⁴	Cm	m ³	m ³ /m ²	kN/m ²	m ³ /m ²
15	5	20	6	9,8	7,9	418	5,2	14,8	10290	12,7	0,041	0,1 13	2,18	0,087
d1	ds	D	Bi	bs	br	A	rs	Ri	I	heq	V/V		Concreto 25 kN/m ³	

Fonte: ATEX (2017)

Figura 29 - Forma ATEX 600 150

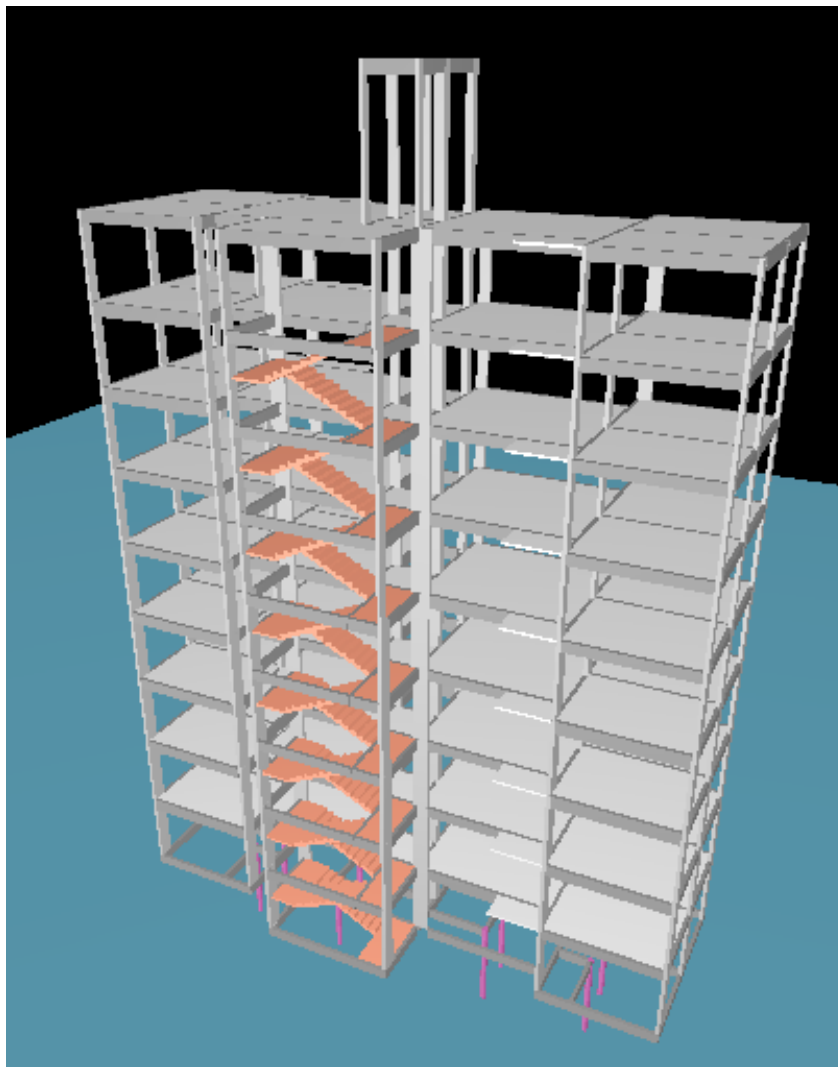


Fonte: ATEX (2017)

As plantas do quarto pavimento de todos os tipos de lajes podem ser encontradas no Anexo A.

Após o lançamento de todos os elementos estruturais anteriormente descritos, o CAD/TQS gera uma estrutura em 3D (Figura 30).

Figura 30 - Estrutura em 3D



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

9 Comparativo dos esforços nas lajes

Feito os sete edifícios com lajes diferentes, foi possível fazer o processamento e comparar os esforços nas lajes, as flechas, as fissuras, e o consumo de aço e concreto de cada um dos edifícios. A situação ideal deste trabalho é encontrar a laje que mais se aproxima das características da laje maciça. Porém, como as distribuições de cargas de cada laje são

diferentes, observou-se que determinados pilares não suportariam a carga aplicada. Da mesma forma, as flechas também foram diferentes. Essas diferenças são exemplificadas nas próximas seções.

9.1 Distribuição de cargas

De acordo com o tipo de laje, a distribuição de cargas nas mesmas é diferente. Tendo-se como base o edifício de lajes maciças, foi possível comparar como é feita a distribuição de cargas de cada laje e qual a que mais se aproxima da maciça. Dessa forma, observando-se a distribuição de cargas do pavimento 4, as quais podem ser encontradas no Anexo B, a laje que mais se aproxima da laje maciça, levando-se em consideração a distribuição de cargas na laje, é a laje treliçada bidirecional de bloco cerâmico.

Da mesma forma, a distribuição de cargas do edifício será diferente para cada um. As Tabelas 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 indicam os valores das distribuições. Todos os valores contêm 100% das cargas variáveis, os valores são característicos e não incluem o peso-próprio dos pilares. Assim sendo, em questão de distribuição de cargas no edifício, a laje que mais se aproxima da laje maciça é a laje treliçada bidirecional de bloco cerâmico.

Tabela 12 - Distribuição de cargas laje maciça

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m ²)	Carga média (tf/m ²)	Soma de reações (tf)
Ático	23,50	8,00	3,49	21,90
Cobertura	130,70	150,70	0,94	125,40
Pav 8	179,10	147,00	1,29	166,80
Pav 7	179,30	147,00	1,30	170,60
Pav 6	179,20	147,00	1,30	170,50
Pav 5	177,40	147,00	1,34	168,90
Pav 4	177,10	147,00	1,30	168,60
Pav 3	177,10	147,00	1,30	168,50
Pav 2	177,10	147,00	1,30	168,40
Pav 1	175,00	147,00	1,29	172,00
Fundação	110,90	21,50	5,16	110,90

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 13 - Distribuição de cargas laje treliçada unidirecional

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m ²)	Carga média (tf/m ²)	Soma de reações (tf)
Ático	23,50	8,00	3,49	21,90
Cobertura	122,00	150,70	0,89	117,90
Pav 8	178,20	147,00	1,29	166,80
Pav 7	178,20	147,00	1,29	170,10
Pav 6	178,10	147,00	1,29	170,10
Pav 5	176,20	147,00	1,29	168,40
Pav 4	176,00	147,00	1,29	168,00
Pav 3	176,20	147,00	1,29	168,10
Pav 2	176,00	147,00	1,29	167,90
Pav 1	175,20	147,00	1,29	167,90
Fundação	110,90	18,80	5,90	113,70

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 14 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional bloco cerâmico

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m ²)	Carga média (tf/m ²)	Soma de reações (tf)
Ático	23,5	8,0	3,49	21,9
Cobertura	134,8	150,7	0,97	129,9
Pav 8	180,1	147,0	1,30	168,7
Pav 7	180,2	147,0	1,30	172,1
Pav 6	180,1	147,0	1,30	172
Pav 5	178,2	147,0	1,34	170,3
Pav 4	177,9	147,0	1,31	170
Pav 3	178,1	147,0	1,31	170,1
Pav 2	178,0	147,0	1,31	169,9
Pav 1	175,9	147,0	1,39	173,4
Fundação	110,7	18,8	5,15	110,7

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 15 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m ²)	Carga média (tf/m ²)	Soma de reações (tf)
Ático	23,5	8,0	3,49	21,9
Cobertura	125,3	150,7	0,91	120,7
Pav 8	171,4	147,0	1,24	160,6
Pav 7	171,9	147,0	1,25	164

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 15 - Continuação da distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m²)	Carga média (tf/m²)	Soma de reações (tf)
Pav 6	171,6	147,0	1,24	164,1
Pav 5	169,9	147,0	1,29	162,2
Pav 4	169,4	147,0	1,25	162
Pav 3	169,9	147,0	1,25	162,1
Pav 2	169,6	147,0	1,25	161,9
Pav 1	169,6	147,0	1,25	167,3
Fundação	110,7	21,5	5,15	110,7

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 16 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m²)	Carga média (tf/m²)	Soma de reações (tf)
Ático	23,5	8,0	3,49	21,9
Cobertura	126	150,7	0,91	121,3
Pav 8	172,3	147,0	1,25	161,2
Pav 7	172	147,0	1,25	164,4
Pav 6	172,1	147,0	1,25	164,5
Pav 5	170,2	147,0	1,29	162,7
Pav 4	169,8	147,0	1,25	162,3
Pav 3	170,3	147,0	1,25	162,5
Pav 2	170,2	147,0	1,25	162,6
Pav 1	168,2	147,0	1,24	165,9
Fundação	110,7	21,5	5,15	110,7

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 17 - Distribuição de cargas laje nervurada seção retangular

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m²)	Carga média (tf/m²)	Soma de reações (tf)
Ático	23,5	8,0	3,49	21,9
Cobertura	150	150,7	1,07	145,6
Pav 8	193	147,0	1,39	182,1
Pav 7	192,9	147,0	1,39	185,4
Pav 6	192,9	147,0	1,39	185,3
Pav 5	191	147,0	1,43	183,6
Pav 4	190,8	147,0	1,39	183,4

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 17 - Continuação da distribuição de cargas laje nervurada seção retangular

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m²)	Carga média (tf/m²)	Soma de reações (tf)
Pav 3	191,1	147,0	1,4	183,5
Pav 2	191,1	147,0	1,4	183,4
Pav 1	191	147,0	1,39	188,9
Fundação	110,7	21,5	5,15	110,7

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 18 - Distribuição de cargas laje nervurada seção trapezoidal

Pavimento	Carga aplicada (tf)	Área (m²)	Carga média (tf/m²)	Soma de reações (tf)
Ático	23,5	8,0	3,49	21,9
Cobertura	133,6	150,7	0,96	136,2
Pav 8	177,9	147,0	1,29	173,4
Pav 7	178,4	147,0	1,29	176,9
Pav 6	178,1	147,0	1,29	177
Pav 5	176,4	147,0	1,33	175,1
Pav 4	176,1	147,0	1,29	174,9
Pav 3	176,4	147,0	1,3	174,9
Pav 2	176	147,0	1,29	174,9
Pav 1	174,2	147,0	1,28	178,3
Fundação	110,7	21,5	5,15	110,7

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

9.2 Consumo de concreto e fôrmas

Em relação ao consumo de materiais, as Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 indicam os valores utilizados em cada tipo de laje. Assim sendo, o consumo de concreto para pilares e vigas de todas as lajes têm valores iguais ou muito semelhantes, com apenas décimos de diferença. O mesmo acontece com o consumo de fôrmas para pilares, sendo de todos os edifícios o mesmo valor. A laje nervurada de seção retangular, para consumo de concreto para lajes e fôrmas de lajes, é a que mais se aproxima com o consumo da laje maciça. Já a laje treliçada bidirecional de EPS 08/40/49 para consumo de fôrmas de vigas é a que mais se aproxima com o consumo da laje maciça. Entretanto, a laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49 teve o menor consumo de concreto para lajes, a laje nervurada de seção trapezoidal menor consumo de fôrmas de vigas e a laje treliçada unidirecional menor consumo de fôrmas de laje. Entretanto, pode-se observar que lajes que supostamente teriam menor consumo de

materiais não o tiveram. Assim como na seção 9.3 do presente relatório, este consumo fora do comum se deve à distribuição de cargas, que acarretou elementos estruturais não dimensionados.

Tabela 19 - Consumo de materiais para laje maciça

Pavimento	Concreto (m³)			Fôrmas (m²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	1,8	0,6	0,5	33,1	8,9	6,2
Cobertura	4,4	5,4	11	80	79,5	136,3
Pav 8	4,4	5,7	12,6	80	84,3	132,7
Pav 7	4,4	5,7	12,6	80	84,5	132,7
Pav 6	4,4	5,7	12,6	80	85	132,7
Pav 5	5,6	5,6	12,6	95	83,9	132,7
Pav 4	5,6	5,6	12,6	95	83,6	132,7
Pav 3	5,6	5,6	12,6	95	84,9	132,7
Pav 2	5,6	5,6	12,6	95	83,7	132,7
Pav 1	5,6	5,6	12,6	95	84	132,7
Fundação	0	7,4	0,3	0	115,7	3,1
TOTAL	47,8	58,5	112,5	828,5	977,9	1207,1

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 20 - Consumo de materiais para laje treliçada unidirecional

Pavimento	Concreto (m³)			Formas (m²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	1,8	0,6	0,5	33,1	8,9	6,3
Cobertura	4,4	5,4	7,7	80	74,6	4,2
Pav 8	4,4	5,7	12,1	80	77,8	17,6
Pav 7	4,4	5,7	12,1	80	78	17,6
Pav 6	4,4	5,7	12,1	80	78	17,6
Pav 5	5,6	5,6	12,1	95	77,1	17,6
Pav 4	5,6	5,6	12,1	95	77,3	17,6
Pav 3	5,6	5,6	12,1	95	78,6	17,6
Pav 2	5,6	5,6	12,1	95	76,9	17,6
Pav 1	5,6	5,6	12,1	95	77,7	17,6
Fundação	0	7,4	0	0	118,4	0
TOTAL	47,8	58,5	105,3	828,5	823,3	151,1

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 21 - Consumo de materiais para laje treliçada unidirecional bloco cerâmico

Pavimento	Concreto (m³)			Fôrmas (m²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	1,8	0,6	0,5	33,1	8,9	6,2
Cobertura	4,4	5,4	10,9	80	74,6	4,2
Pav 8	4,4	5,7	11,5	80	80,9	17,6
Pav 7	4,4	5,7	11,5	80	81,1	17,6
Pav 6	4,4	5,7	11,5	80	81,6	17,6
Pav 5	5,6	5,6	11,5	95	80,6	17,6
Pav 4	5,6	5,6	11,5	95	80,3	17,6
Pav 3	5,6	5,6	11,5	95	81,9	17,6
Pav 2	5,6	5,6	11,5	95	80,4	17,6
Pav 1	5,6	5,6	11,5	95	81,3	17,6
Fundação	0	7,4	0,2	0	115,8	3,1
TOTAL	47,8	58,5	103,5	828,5	847,4	154,2

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 22 - Consumo de materiais para laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49

Pavimento	Concreto (m³)			Fôrmas (m²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	1,8	0,6	0,5	33,1	8,9	6,2
Cobertura	4,4	5,4	8,9	80	74,6	4,2
Pav 8	4,4	5,7	9,8	80	80,9	17,6
Pav 7	4,4	5,7	9,8	80	81,1	17,6
Pav 6	4,4	5,7	9,8	80	81,6	17,6
Pav 5	5,6	5,6	9,8	95	80,6	17,6
Pav 4	5,6	5,6	9,8	95	80,3	17,6
Pav 3	5,6	5,7	9,8	95	81,9	17,6
Pav 2	5,6	5,6	9,8	95	80,4	17,6
Pav 1	5,6	5,8	9,8	95	83,3	17,6
Fundação	0	7,4	0,2	0	115,8	3,1
TOTAL	47,8	58,8	87,9	828,5	849,4	154,2

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 23 - Consumo de materiais para laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59

Pavimento	Concreto (m³)			Fôrmas (m²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	1,8	0,6	0,5	33,1	8,9	6,2
Cobertura	4,4	5,4	9,1	80	72,1	4,2
Pav 8	4,4	5,7	9,9	80	78,9	17,6
Pav 7	4,4	5,7	9,9	80	79	17,6
Pav 6	4,4	5,7	9,9	80	79,6	17,6
Pav 5	5,6	5,6	9,9	95	78,6	17,6
Pav 4	5,6	5,6	9,9	95	78,3	17,6
Pav 3	5,6	5,7	9,9	95	79,9	17,6
Pav 2	5,6	5,6	9,9	95	78,4	17,6
Pav 1	5,6	5,7	9,9	95	79,2	17,6
Fundação	0	7,4	0,2	0	115,8	3,1
TOTAL	47,8	58,7	89,1	828,5	828,7	154,2

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 24 - Consumo de materiais para laje nervurada seção retangular

Pavimento	Concreto (m³)			Formas (m²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	1,8	0,6	0,5	33,1	8,9	6,2
Cobertura	4,4	5,4	13	80	67,1	136,3
Pav 8	4,4	5,7	13,2	80	74,8	132,7
Pav 7	4,4	5,7	13,2	80	74,9	132,7
Pav 6	4,4	5,7	13,2	80	75,5	132,7
Pav 5	5,6	5,6	13,2	95	74,6	132,7
Pav 4	5,6	5,6	13,2	95	74,3	132,7
Pav 3	5,6	5,7	13,2	95	75,9	132,7
Pav 2	5,6	5,6	13,2	95	74,4	132,7
Pav 1	5,6	5,8	13,2	95	77,2	132,7
Fundação	0	7,4	0,2	0	115,8	3,1
TOTAL	47,8	58,8	119,5	828,5	793,3	1207,1

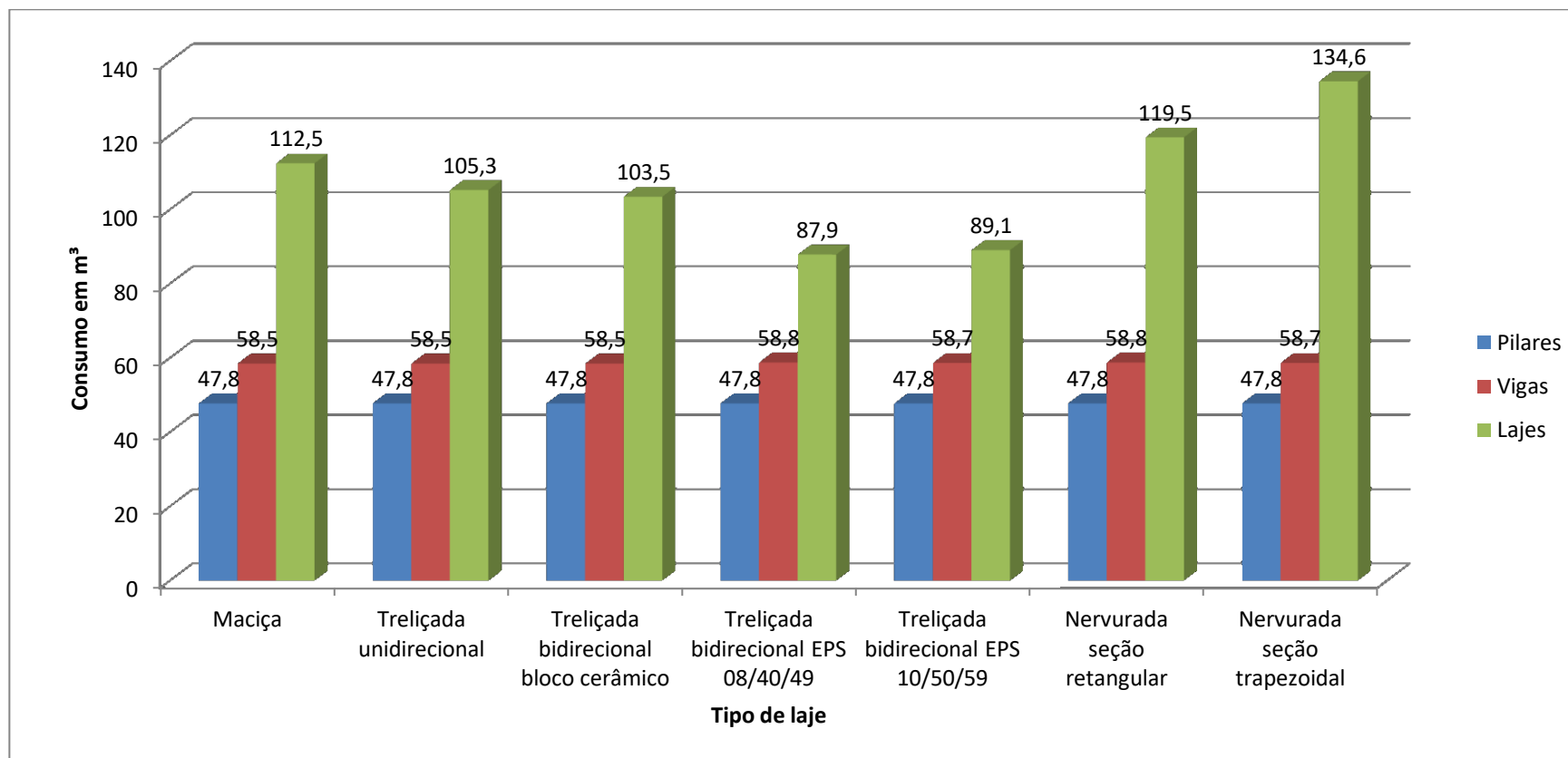
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 25 - Consumo de materiais para laje nervurada seção trapezoidal

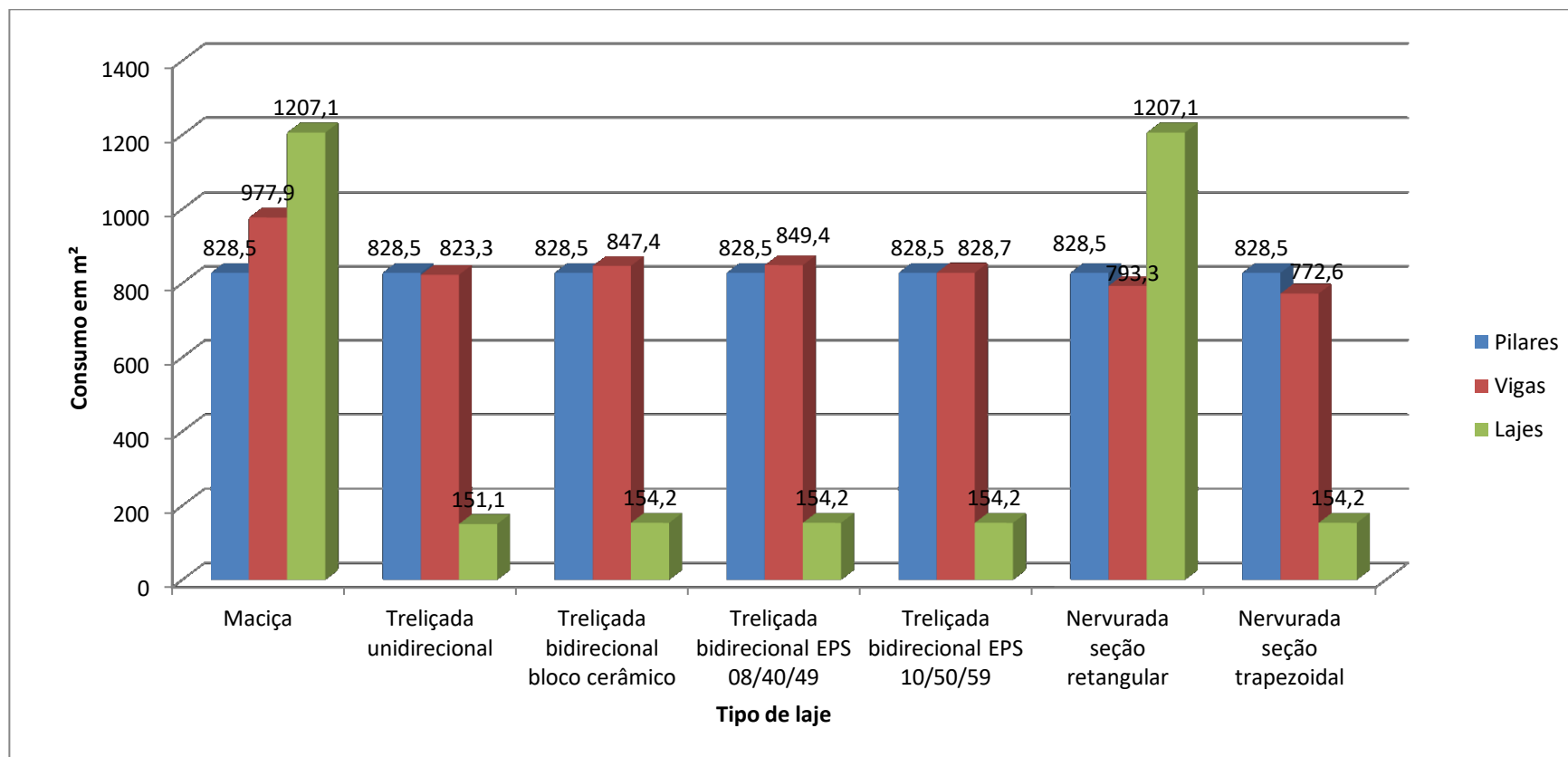
Pavimento	Concreto (m³)			Formas (m²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	1,8	0,6	0,5	33,1	8,9	6,2
Cobertura	4,4	5,4	14,8	80	64,7	4,2
Pav 8	4,4	5,7	14,9	80	72,7	17,6
Pav 7	4,4	5,7	14,9	80	72,9	17,6
Pav 6	4,4	5,7	14,9	80	73,3	17,6
Pav 5	5,6	5,6	14,9	95	72,6	17,6
Pav 4	5,6	5,6	14,9	95	72,3	17,6
Pav 3	5,6	5,7	14,9	95	73,9	17,6
Pav 2	5,6	5,6	14,9	95	72,3	17,6
Pav 1	5,6	5,7	14,9	95	73,2	17,6
Fundação	0	7,4	0,2	0	115,8	3,1
TOTAL	47,8	58,7	134,6	828,5	772,6	154,2

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Com os dados das tabelas anteriores fez-se possível a criação de gráficos comparativos de consumo de materiais de cada tipo de laje, facilitando a conferição. Tais gráficos podem ser observados nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 – Consumo de concreto em m³

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 32 - Consumo de fôrmas em m²

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

9.3 Consumo de aço

Da mesma forma, a laje com menor consumo de aço para pilares e para vigas foi a laje maciça e a que mais se aproxima da laje maciça foi a laje treliçada unidirecional. O consumo de aço para as lajes foi o mesmo em todos os edifícios. O consumo de aço foi muito diferente, pois algumas lajes tiveram distribuições muito díspares da laje maciça, fazendo com que alguns pilares não suportassem as cargas, ocasionando no não dimensionamento dos mesmos. Assim sendo, lajes que deveriam ter o consumo menor de aço, acabam por apresentarem maior consumo em decorrência do não dimensionamento de pilares. Esse resultado é possível ser observado com as Tabelas 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32 e com o gráfico comparativo da Figura 33.

Tabela 26 - Consumo de aço laje maciça

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	190,7	48	56,3
Cobertura	428,5	455,5	176,4
Pav 8	438,3	622,9	166,4
Pav 7	452,5	696	167,7
Pav 6	695	731,9	167,1
Pav 5	435,4	856,7	162,5
Pav 4	550,5	954,9	166,5
Pav 3	821,3	1116,8	166,2
Pav 2	1241,4	1074,2	165,5
Pav 1	2612,4	1001,1	166,5
Fundação	0	422,7	1,8
TOTAL	7866,1	7980,6	1562,8

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 27 - Consumo de aço laje treliçada unidirecional

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	211,9	48,3	56,3
Cobertura	456,5	426	176,4
Pav 8	454,2	576,9	166,4
Pav 7	486,3	708,7	167,7
Pav 6	742,3	840,9	167,1

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 27 - Continuação do consumo de aço laje treliçada unidirecional

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Pav 5	443,3	1072	162,5
Pav 4	561	1220,2	166,5
Pav 3	905,6	1350,1	166,2
Pav 2	1570,8	1366,6	165,5
Pav 1	3339,7	1165,5	166,5
Fundação	0	452,1	1,8
TOTAL	9171,6	9227,2	1562,8

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 28 - Consumo de aço laje treliçada bidirecional bloco cerâmico

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	211,9	48,2	56,3
Cobertura	457,5	467,6	176,4
Pav 8	460,6	627,3	166,4
Pav 7	463,7	749	167,7
Pav 6	677,3	853,6	167,1
Pav 5	443,3	1096	162,5
Pav 4	573,4	1230,8	166,5
Pav 3	961,9	1334,1	166,2
Pav 2	1672,3	1415,1	165,5
Pav 1	3428,8	1218,2	166,5
Fundação	0	424,1	1,8
TOTAL	9350,7	9464	1562,8

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 29 - Consumo de aço laje treliçada bidirecional bloco EPS 08/40/49

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	202,2	48,2	56,3
Cobertura	444,1	456,3	176,4
Pav 8	449,9	616,4	166,4
Pav 7	432,4	750,7	167,7
Pav 6	643,1	873,8	167,1
Pav 5	434,6	1091,7	162,5

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 29 - Continuação do consumo de aço laje treliçada bidirecional bloco EPS 08/40/49

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Pav 4	506,6	1250,7	166,5
Pav 3	819,6	1378,7	166,2
Pav 2	1557,9	1455,1	165,5
Pav 1	3379,7	1133,9	166,5
Fundação	0	424,1	1,8
TOTAL	8870,1	9479,6	1562,8

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 30 - Consumo de aço laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	202,2	48,2	56,3
Cobertura	444,1	456,9	176,4
Pav 8	449,9	636,4	166,4
Pav 7	432,4	743,9	167,7
Pav 6	643,1	870,1	167,1
Pav 5	434,6	1094,4	162,5
Pav 4	506,6	1242,5	166,5
Pav 3	845,4	1413,4	166,2
Pav 2	1542,8	1511	165,5
Pav 1	3171,7	1264	166,5
Fundação	0	424,1	1,8
TOTAL	8672,8	9704,9	1562,8

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 31 - Consumo de aço laje nervurada seção retangular

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	211,9	48,2	56,3
Cobertura	464,6	476,7	176,4
Pav 8	470,6	698,2	166,4
Pav 7	536	836,3	167,7
Pav 6	640,4	899,9	167,1
Pav 5	477,2	1164,8	162,5
Pav 4	731,1	1323	166,5

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 31 - Continuação do consumo de aço laje nervurada seção retangular

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Pav 3	1358,9	1518	166,2
Pav 2	2187,7	1505,9	165,5
Pav 1	2918,5	1199,4	166,5
Fundação	0	424,1	1,8
TOTAL	9987	10094,4	1562,8

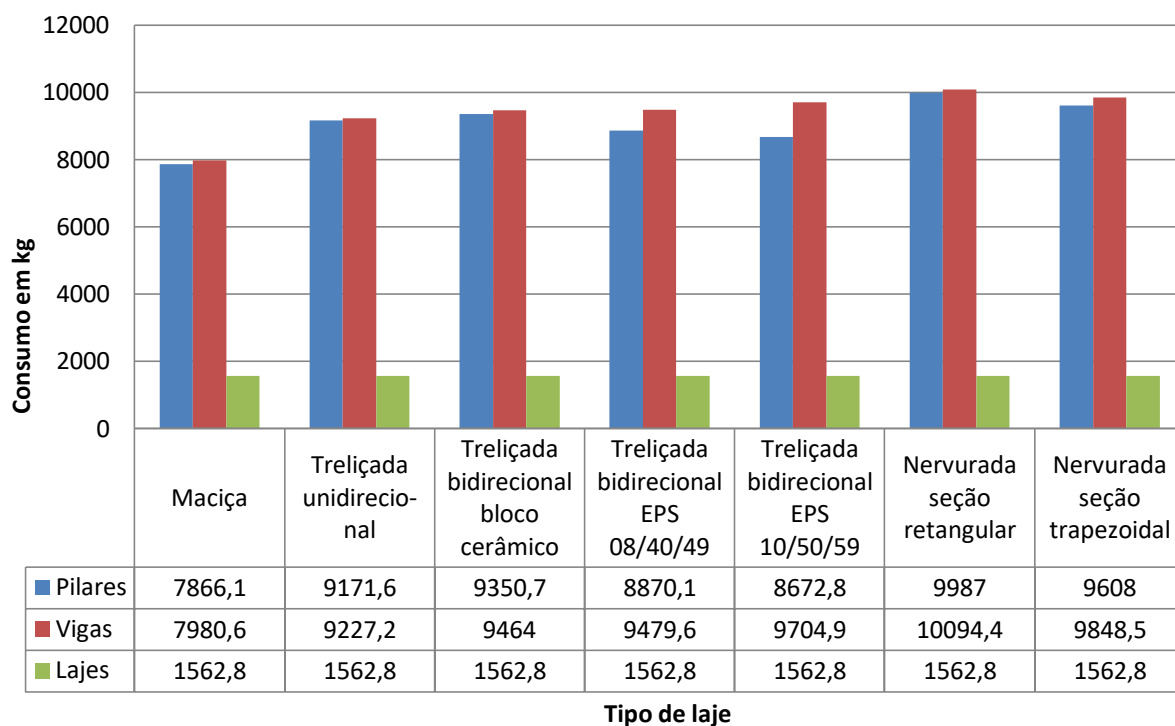
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 32 - Consumo de aço laje nervurada seção trapezoidal

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Ático	190,7	48,2	56,3
Cobertura	440,4	468	176,4
Pav 8	448,6	639	166,4
Pav 7	471,1	763,7	167,7
Pav 6	752	887,5	167,1
Pav 5	442,7	1128,4	162,5
Pav 4	634,2	1249,5	166,5
Pav 3	1110,5	1376,4	166,2
Pav 2	1953,9	1603,2	165,5
Pav 1	3163,8	1260,7	166,5
Fundação	0	424,1	1,8
TOTAL	9608	9848,5	1562,8

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 33 - Consumo de aço em kg



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

9.4 Flechas

O programa CAD TQS analisa apenas as flechas em razão da limitação visual, sendo o valor limite da ABNT NBR 6118:2014 igual ao vão dividido por 250. Com o concreto de classe C40, o dimensionamento da estrutura e as lajes maciças, não obteve-se flechas acima do recomendado. Mantendo-se a mesma estrutura e alterando-se apenas as lajes, foram encontradas flechas acima do permitido. Esta situação ocorre, pois a estrutura do edifício, vigas e pilares, deveria ser alterada para suportar as diferentes distribuições de carga. Os valores das flechas das lajes e vigas do quarto pavimento podem ser observados nas Tabelas 33 à 46. É importante ressaltar que o objeto de estudos foram as lajes do pavimento tipo, sem levar em conta as lajes das sacadas e as lajes dos patamares por terem o mesmo comportamento em todos os edifícios estudados.

Tabela 33 - Verificação de flechas em vigas para laje maciça

Verificação de flechas em viga					
Laje	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
V 401	1	440,00	-0,25	1,76	Passou
V402	1	440,00	-0,25	1,76	Passou
V 403	1	538,50	-0,07	2,15	Passou
V 404	1	536,00	-0,58	2,14	Passou
V 405	1	151,99	0,00	0,61	Passou
V 406	1	457,25	-0,35	1,83	Passou
V 407	1	457,25	-0,35	1,83	Passou
V 408	1	152,00	0,00	0,61	Passou
V 409	1	210,07	-0,02	0,84	Passou
	2	539,06	-1,09	2,16	Passou
	3	540,86	-0,30	2,16	Passou
V 410	1	457,50	-0,29	1,83	Passou
V 411	1	457,50	-0,21	1,83	Passou
V 412	1	515,93	-1,47	2,06	Passou
V 413	1	318,50	-0,06	1,27	Passou
	2	333,50	-0,07	1,33	Passou
V 414	1	318,50	-0,02	1,27	Passou
	2	355,75	-0,20	1,42	Passou
V 415	1	244,50	-0,03	0,98	Passou
V 416	1	244,50	0,00	0,98	Passou
V 417	1	180,50	-0,17	0,72	Passou
	2	209,00	-0,07	0,84	Passou
	3	96,75	-0,01	0,39	Passou
V 418	1	275,00	-0,80	1,10	Passou
V 419	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 420	1	176,50	-0,07	0,71	Passou
	2	209,00	-0,07	0,84	Passou
	3	96,75	-0,01	0,84	Passou
V 421	1	318,50	-0,04	1,27	Passou
	2	356,00	-0,13	1,42	Passou
V 422	1	318,50	-0,06	1,27	Passou
	2	333,50	-0,06	1,33	Passou
V423	1	268,00	0,00	1,07	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 34 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada unidirecional

Verificação de flechas em viga					
Laje	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
V 401	1	440,00	-0,38	1,76	Passou
V402	1	440,00	-2,00	1,76	Não Passou
V 403	1	538,50	-0,56	2,15	Passou
V 404	1	536,00	-0,49	2,14	Passou
V 405	1	151,99	0,00	0,61	Passou
V 406	1	457,25	-1,50	1,83	Passou
V 407	1	457,25	-2,52	1,83	Não Passou
V 408	1	152,00	-0,01	0,61	Passou
V 409	1	210,07	-0,02	0,84	Passou
	2	539,06	-1,14	2,16	Passou
	3	540,86	-0,25	2,16	Passou
V 410	1	457,50	-0,68	1,83	Passou
V 411	1	457,50	-1,95	1,83	Não Passou
V 412	1	515,93	-1,51	2,06	Passou
V 413	1	318,50	-0,02	1,27	Passou
	2	333,50	-0,02	1,33	Passou
V 414	1	318,50	-0,07	1,27	Passou
	2	355,75	-0,22	1,42	Passou
V 415	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 416	1	244,50	0,00	0,98	Passou
V 417	1	180,50	-0,24	0,72	Passou
	2	209,00	-0,15	0,84	Passou
	3	96,75	-0,04	0,39	Passou
V 418	1	275,00	-0,79	1,10	Passou
V 419	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 420	1	176,50	-0,07	0,71	Passou
	2	209,00	-0,15	0,84	Passou
	3	96,75	-0,03	0,39	Passou
V 421	1	318,50	-0,08	1,27	Passou
	2	356,00	-0,16	1,42	Passou
V 422	1	318,50	-0,02	1,27	Passou
	2	333,50	-0,02	1,33	Passou
V423	1	268,00	0,00	1,07	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 35 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada bidirecional bloco cerâmico

Verificação de flechas em viga					
Laje	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
V 401	1	440,00	-0,30	1,76	Passou
V402	1	440,00	-0,30	1,76	Passou
V 403	1	538,50	-0,92	2,15	Passou
V 404	1	536,00	-0,77	2,14	Passou
V 405	1	151,99	0,00	0,61	Passou
V 406	1	457,25	-0,86	1,83	Passou
V 407	1	457,25	-0,84	1,83	Passou
V 408	1	152,00	0,00	0,61	Passou
V 409	1	210,07	-0,04	0,84	Passou
	2	539,06	-1,08	2,16	Passou
	3	540,86	-0,43	2,16	Passou
V 410	1	457,50	-0,50	1,83	Passou
V 411	1	457,50	-0,34	1,83	Passou
V 412	1	515,93	-1,49	2,06	Passou
V 413	1	318,50	-0,05	1,27	Passou
	2	333,50	-0,04	1,33	Passou
V 414	1	318,50	-0,04	1,27	Passou
	2	355,75	-0,24	1,42	Passou
V 415	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 416	1	244,50	0,00	0,98	Passou
V 417	1	180,50	-0,24	0,72	Passou
	2	209,00	-0,18	0,84	Passou
	3	96,75	-0,02	0,39	Passou
V 418	1	275,00	-0,79	1,10	Passou
V 419	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 420	1	176,50	-0,21	0,71	Passou
	2	209,00	-0,19	0,84	Passou
	3	96,75	-0,02	0,39	Passou
V 421	1	318,50	-0,11	1,27	Passou
	2	356,00	-0,16	1,42	Passou
V 422	1	318,50	-0,06	1,27	Passou
	2	333,50	-0,04	1,33	Passou
V423	1	268,00	0,00	1,07	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 36 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49

Verificação de flechas em viga					
Laje	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
V 401	1	440,00	-0,27	1,76	Passou
V402	1	440,00	-0,27	1,76	Passou
V 403	1	538,50	-0,76	2,15	Passou
V 404	1	536,00	-0,65	2,14	Passou
V 405	1	151,99	0,00	0,61	Passou
V 406	1	457,25	-0,73	1,83	Passou
V 407	1	457,25	-0,72	1,83	Passou
V 408	1	152,00	0,00	0,61	Passou
V 409	1	210,07	-0,02	0,84	Passou
	2	539,06	-1,34	2,16	Passou
	3	540,86	-0,39	2,16	Passou
V 410	1	457,50	-0,43	1,83	Passou
V 411	1	457,50	-0,30	1,83	Passou
V 412	1	515,93	-1,51	2,06	Passou
V 413	1	318,50	-0,03	1,27	Passou
	2	333,50	-0,03	1,33	Passou
V 414	1	318,50	-0,03	1,27	Passou
	2	355,75	-0,19	1,42	Passou
V 415	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 416	1	244,50	0,00	0,98	Passou
V 417	1	180,50	-0,17	0,72	Passou
	2	209,00	-0,20	0,84	Passou
	3	96,75	-0,01	0,39	Passou
V 418	1	275,00	-0,79	1,10	Passou
V 419	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 420	1	176,50	-0,04	0,71	Passou
	2	209,00	-0,22	0,84	Passou
	3	96,75	-0,01	0,39	Passou
V 421	1	318,50	-0,12	1,27	Passou
	2	356,00	-0,13	1,42	Passou
V 422	1	318,50	-0,03	1,27	Passou
	2	333,50	-0,03	1,33	Passou
V423	1	268,00	0,00	1,07	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 37 - Verificação de flechas em vigas para laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59

Verificação de flechas em viga					
Laje	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
V 401	1	440,00	-0,26	1,76	Passou
V402	1	440,00	-0,26	1,76	Passou
V 403	1	538,50	-0,81	2,15	Passou
V 404	1	536,00	-0,66	2,14	Passou
V 405	1	151,99	0,00	0,61	Passou
V 406	1	457,25	-0,70	1,83	Passou
V 407	1	457,25	-0,68	1,83	Passou
V 408	1	152,00	0,00	0,61	Passou
V 409	1	210,07	-0,06	0,84	Passou
	2	539,06	-1,33	2,16	Passou
	3	540,86	-0,39	2,16	Passou
V 410	1	457,50	-0,41	1,83	Passou
V 411	1	457,50	-0,29	1,83	Passou
V 412	1	515,93	-1,52	2,06	Passou
V 413	1	318,50	-0,02	1,27	Passou
	2	333,50	-0,03	1,33	Passou
V 414	1	318,50	-0,05	1,27	Passou
	2	355,75	-0,18	1,42	Passou
V 415	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 416	1	244,50	0,00	0,98	Passou
V 417	1	180,50	-0,26	0,72	Passou
	2	209,00	-0,03	0,84	Passou
	3	96,75	-0,02	0,39	Passou
V 418	1	275,00	-0,82	1,10	Passou
V 419	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 420	1	176,50	-0,25	0,71	Passou
	2	209,00	-0,05	0,84	Passou
	3	96,75	-0,02	0,39	Passou
V 421	1	318,50	-0,10	1,27	Passou
	2	356,00	-0,13	1,42	Passou
V 422	1	318,50	-0,02	1,27	Passou
	2	333,50	-0,03	1,33	Passou
V423	1	268,00	0,00	1,07	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 38 - Verificação de flechas em vigas para laje nervurada seção retangular

Verificação de flechas em viga					
Laje	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
V 401	1	440,00	-0,28	1,76	Passou
V402	1	440,00	-0,27	1,76	Passou
V 403	1	538,50	-1,06	2,15	Passou
V 404	1	536,00	-0,86	2,14	Passou
V 405	1	151,99	0,00	0,61	Passou
V 406	1	457,25	-0,54	1,83	Passou
V 407	1	457,25	-0,50	1,83	Passou
V 408	1	152,00	-0,02	0,61	Passou
V 409	1	210,07	-0,05	0,84	Passou
	2	539,06	-1,33	2,16	Passou
	3	540,86	-0,46	2,16	Passou
V 410	1	457,50	-0,40	1,83	Passou
V 411	1	457,50	-0,29	1,83	Passou
V 412	1	515,93	-1,51	2,06	Passou
V 413	1	318,50	-0,04	1,27	Passou
	2	333,50	-0,04	1,33	Passou
V 414	1	318,50	-0,04	1,27	Passou
	2	355,75	-0,23	1,42	Passou
V 415	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 416	1	244,50	0,00	0,98	Passou
V 417	1	180,50	-0,21	0,72	Passou
	2	209,00	-0,09	0,84	Passou
	3	96,75	0,00	0,39	Passou
V 418	1	275,00	-0,81	1,10	Passou
V 419	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 420	1	176,50	-0,01	0,71	Passou
	2	209,00	-0,12	0,84	Passou
	3	96,75	0,00	0,39	Passou
V 421	1	318,50	-0,10	1,27	Passou
	2	356,00	-0,15	1,42	Passou
V 422	1	318,50	-0,04	1,27	Passou
	2	333,50	-0,04	1,33	Passou
V423	1	268,00	0,00	1,07	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 39 - Verificação de flechas em vigas para laje nervurada seção trapezoidal

Verificação de flechas em viga					
Laje	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
V 401	1	440,00	-0,23	1,76	Passou
V402	1	440,00	-0,24	1,76	Passou
V 403	1	538,50	-0,78	2,15	Passou
V 404	1	536,00	-0,65	2,14	Passou
V 405	1	151,99	0,00	0,61	Passou
V 406	1	457,25	-0,36	1,83	Passou
V 407	1	457,25	-0,36	1,83	Passou
V 408	1	152,00	-0,02	0,61	Passou
V 409	1	210,07	-0,02	0,84	Passou
	2	539,06	-1,31	2,16	Passou
	3	540,86	-0,33	2,16	Passou
V 410	1	457,50	-0,35	1,83	Passou
V 411	1	457,5	-0,26	1,83	Passou
V 412	1	515,93	-1,54	2,06	Passou
V 413	1	318,50	-0,03	1,27	Passou
	2	333,50	-0,03	1,33	Passou
V 414	1	318,50	-0,02	1,27	Passou
	2	355,75	-0,18	1,42	Passou
V 415	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 416	1	244,50	0,00	0,98	Passou
V 417	1	180,50	-0,19	0,72	Passou
	2	209,00	-0,06	0,84	Passou
	3	96,75	0,00	0,39	Passou
V 418	1	275,00	-0,82	1,10	Passou
V 419	1	244,50	-0,02	0,98	Passou
V 420	1	176,50	-0,01	0,71	Passou
	2	209,00	-0,07	0,84	Passou
	3	96,75	0,00	0,39	Passou
V 421	1	318,50	-0,09	1,27	Passou
	2	356,00	-0,12	1,42	Passou
V 422	1	318,50	-0,03	1,27	Passou
	2	333,50	-0,03	1,33	Passou
V423	1	268,00	0,00	1,07	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 40 - Verificação das flechas em laje para lajes maciça

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 401	80,50	-0,30	0,32	Passou
L 402	346,00	-0,77	1,38	Passou
L 403	346,00	-0,78	1,38	Passou
L 404	541,00	-1,76	2,16	Passou
L 405	541,00	-1,90	2,16	Passou
L 406	166,00	-0,10	0,66	Passou
L 407	331,00	-0,79	1,32	Passou
L 408	331,00	-0,74	1,32	Passou
L 409	110,50	-0,27	0,44	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 41 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada unidirecional

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 401	80,5	-4,69	0,32	Não Passou
L 402	346,0	-3,08	1,38	Não Passou
L 403	346,0	-4137,4	1,38	Não Passou
L 404	541,0	-9,49	2,16	Não Passou
L 405	541,0	-9,37	2,16	Não Passou
L 406	166,0	-0,16	0,66	Passou
L 407	331,0	-2,73	1,32	Não Passou
L 408	331,0	-3479	1,32	Não Passou
L 409	110,5	-1,49	0,44	Não Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 42 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada bidirecional bloco cerâmico

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 401	80,50	-0,70	0,32	Não Passou
L 402	346,00	-1,10	1,38	Passou
L 403	346,00	-1,10	1,38	Passou
L 404	541,00	-5,17	2,16	Não Passou
L 405	541,00	-5,61	2,16	Não Passou
L 406	166,00	-0,17	0,66	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 42 - Continuação da verificação das flechas em laje para laje treliçada bidirecional bloco cerâmico

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 407	331,00	-1,11	1,32	Passou
L 408	331,00	-1,04	1,32	Passou
L 409	110,50	0,35	0,44	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 43 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 401	80,50	-1,46	0,32	Não Passou
L 402	346,00	-1,16	1,38	Passou
L 403	346,00	-1,17	1,38	Passou
L 404	541,00	-6,84	2,16	Não Passou
L 405	541,00	-7,39	2,16	Não Passou
L 406	166,00	0,08	0,66	Passou
L 407	331,00	-1,14	1,32	Passou
L 408	331,00	-1,06	1,32	Passou
L 409	110,50	0,35	0,44	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 44 - Verificação das flechas em laje para laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 401	80,50	-0,44	0,32	Não Passou
L 402	346,00	-0,90	1,38	Passou
L 403	346,00	-0,92	1,38	Passou
L 404	541,00	-5,50	2,16	Não Passou
L 405	541,00	-5,77	2,16	Não Passou
L 406	166,00	-0,03	0,66	Passou
L 407	331,00	-0,94	1,32	Passou
L 408	331,00	-0,08	1,32	Passou
L 409	110,50	0,35	0,44	Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 45 - Verificação das flechas em laje para laje nervurada seção retangular

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 401	80,50	-0,98	0,32	Não Passou
L 402	346,00	-0,67	1,38	Passou
L 403	346,00	-0,61	1,38	Passou
L 404	541,00	-2,19	2,16	Não Passou
L 405	541,00	2,27	2,16	Não Passou
L 406	166,00	-0,20	0,66	Passou
L 407	331,00	-0,69	1,32	Passou
L 408	331,00	-0,57	1,32	Passou
L 409	110,50	0,53	0,44	Não Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Tabela 46 - Verificação das flechas em laje para laje nervurada seção trapezoidal

Verificação de flechas em laje				
Laje	L (cm)	f (cm)	f lim (cm)	Situação
L 401	80,50	-0,93	0,32	Não Passou
L 402	346,00	-0,52	1,38	Passou
L 403	346,00	-0,52	1,38	Passou
L 404	541,00	-1,39	2,16	Passou
L 405	541,00	-1,41	2,16	Passou
L 406	166,00	-0,17	0,66	Passou
L 407	331,00	-0,53	1,32	Passou
L 408	331,00	-0,48	1,32	Passou
L 409	110,50	-0,84	0,44	Não Passou

Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Após analisar as tabelas pode-se observar que diversas lajes não passaram no critério de flechas e para as vigas apenas a laje treliçada unidirecional não passou. Para impedir que as flechas sejam maiores que as limites, uma opção seria aumentar a espessura da laje ou alterar a distribuição das lajes. Outra forma de evitar flechas acima do limite seria alterar a parte estrutural do edifício para suportar os esforços solicitantes.

10 Conclusão

Através do programa CAD/TQS, pode-se observar a importância dos conhecimentos teóricos aprendidos em sala de aula como: o dimensionamento de pilares, vigas, lajes e escadas, a aplicação do estudo do vento e a estabilidade global. Também foi possível observar como as características geométricas e físicas dos elementos influenciam no desenvolvimento do projeto.

A análise de grelha é outro conhecimento teórico de extrema importância, através do qual é possível analisar deslocamentos e esforços. Foi a partir da análise de grelha que se fez possível garantir a segurança do edifício no qual foram feitas as comparações.

Com base nos gráficos e tabelas obtidos, pode-se confirmar que, a laje que mais se aproxima da distribuição de cargas da laje maciça do edifício estudado é a laje treliçada bidirecional com enchimento de blocos cerâmicos. Em questão de consumo de materiais, concreto e fôrmas, a laje nervurada de seção retangular é a mais próxima da laje maciça. Já a laje treliçada unidirecional tem um consumo de aço próximo do consumo da laje maciça. Entretanto, em questão econômica, as afirmações anteriores não são as melhores. Assim sendo, a laje com menor consumo de concreto foi a laje treliçada bidirecional de blocos de EPS 08/40/49, com menor consumo de fôrmas foi a laje nervurada de seção trapezoidal e menor consumo de aço foi a laje maciça. É importante salientar que este trabalho não tem como intenção generalizar os resultados obtidos com outros tipos de edificações.

A análise dos resultados mostra, em alguns casos, lajes que apresentavam um menor consumo de concreto, porém um maior consumo de aço que outra. Uma opção indicada é levar em consideração a laje em função do concreto, já que esta variável também implica em aumentar a altura da laje, algo que nem sempre é possível frente a um determinado projeto arquitetônico. O custo dos materiais, que não foram analisados neste trabalho, também deve ser fundamental na escolha da laje. Seria aconselhável o desenvolvimento de um estudo complementar, no qual os custos também fossem considerados.

Algumas irregularidades são observadas tanto nas tabelas de consumo como nas tabelas de situação de flechas. Isto pode ser explicado pela distribuição de cargas na laje, que são diferentes de acordo com o tipo. Como o presente trabalho teve como princípio comparar com

a laje maciça, os elementos estruturais, vigas e pilares, não foram alterados, fazendo com que alguns elementos não fossem dimensionados, acarretando em discordâncias.

A escolha da alternativa estrutural a ser adotada depende de muitas variáveis. Devido as suas particularidades e imposições, o projeto arquitetônico pode inviabilizar um determinado sistema estrutural.

É importante lembrar que o programa é apenas uma ferramenta, a geração dos detalhamentos não implica em um projeto correto. Cabe ao engenheiro responsável analisar todos os resultados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1:** Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais. 15 p. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-2:** Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 2: Lajes bidirecionais. 2 p. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3 ed. 238 p. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:** Cargas para cálculo de estrutura de edificações. 1 ed. 5 p. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificações. 1 ed. 66 p. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:** Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. 1 ed. 15 p. Rio de Janeiro, 2003.

ATEX, **Fôrmas para laje nervurada.** Disponível em: <<http://www.atex.com.br/pt/formas/laje-nervurada/>>. Acesso em: 06 de Nov. 2017.

CONSTRUINDO, **Laje nervurada – O guia completo.** Disponível em: <<http://construindodecor.com.br/laje-nervurada-o-guia-completo/>>. Acesso em: 06 de Nov. 2017.

GERDAU, **Catálogo: lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas.** 28 p. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/trelica-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em: 12 de Set. 2017.

GIONGO, J. S; JUNIOR, C. F. B. **Concreto armado: projeto e construção de lajes nervuradas.** 2007. 53 f. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

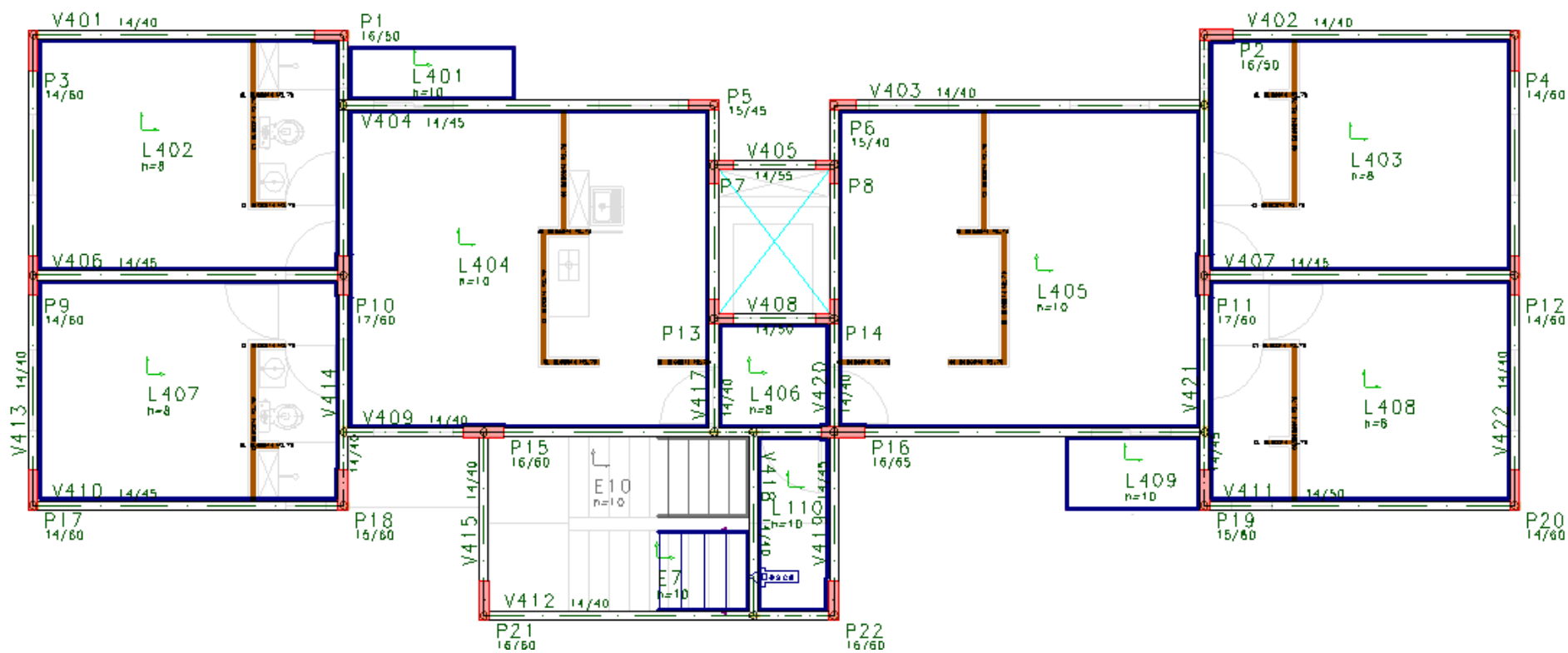
IESLA, **Importância das Normas da ABNT**. In: Instituto de Educação Superior Latinoamericano, 2017. Disponível em: <<http://iesla.com.br/noticias/importancia-das-normas-da-abnt/>>. Acesso em: 13 de Jun. 2017.

JÚNIOR, CARLOS. **Lajes nervuradas de concreto armado: projeto e execução**. 1995. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

TQS, TQS Informática Ltda, 2017. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/>>. Acesso em: 13 de Jun. 2017.

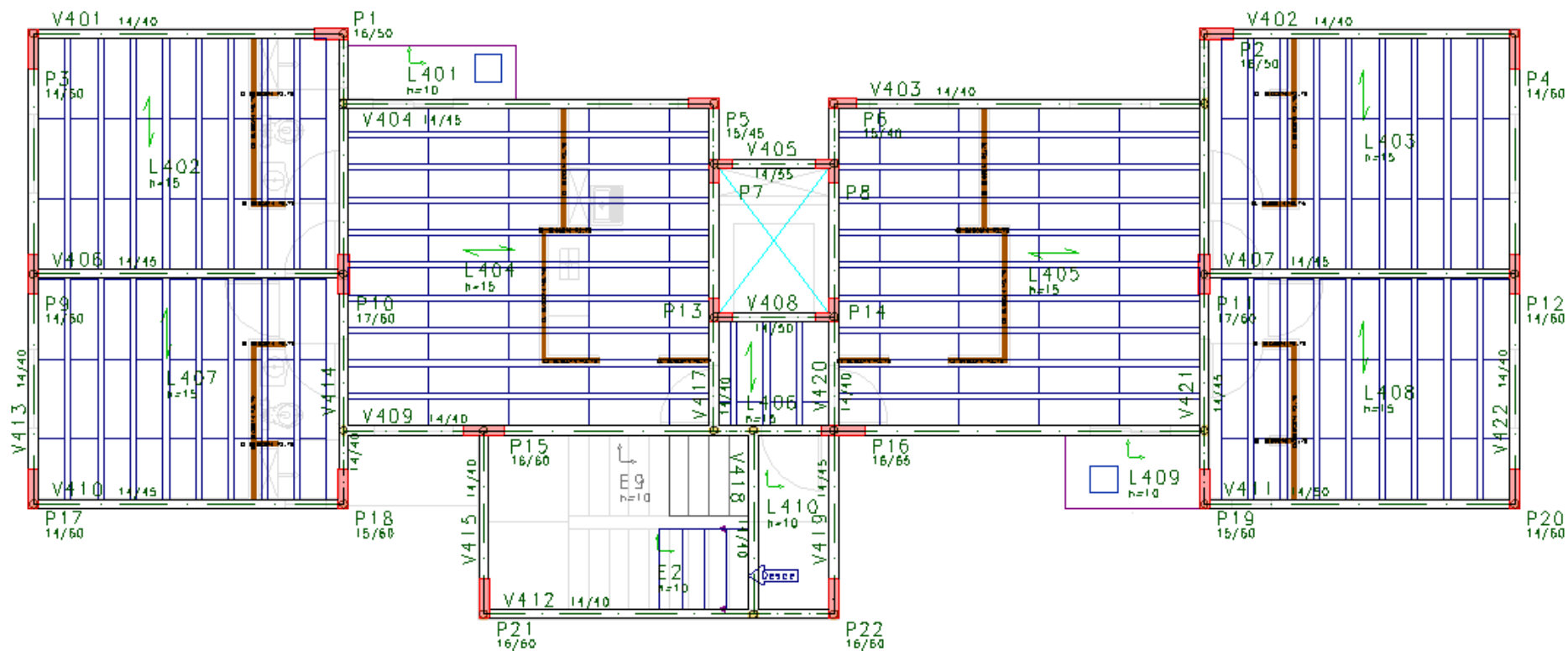
ANEXO A

Figura 34 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes maciças



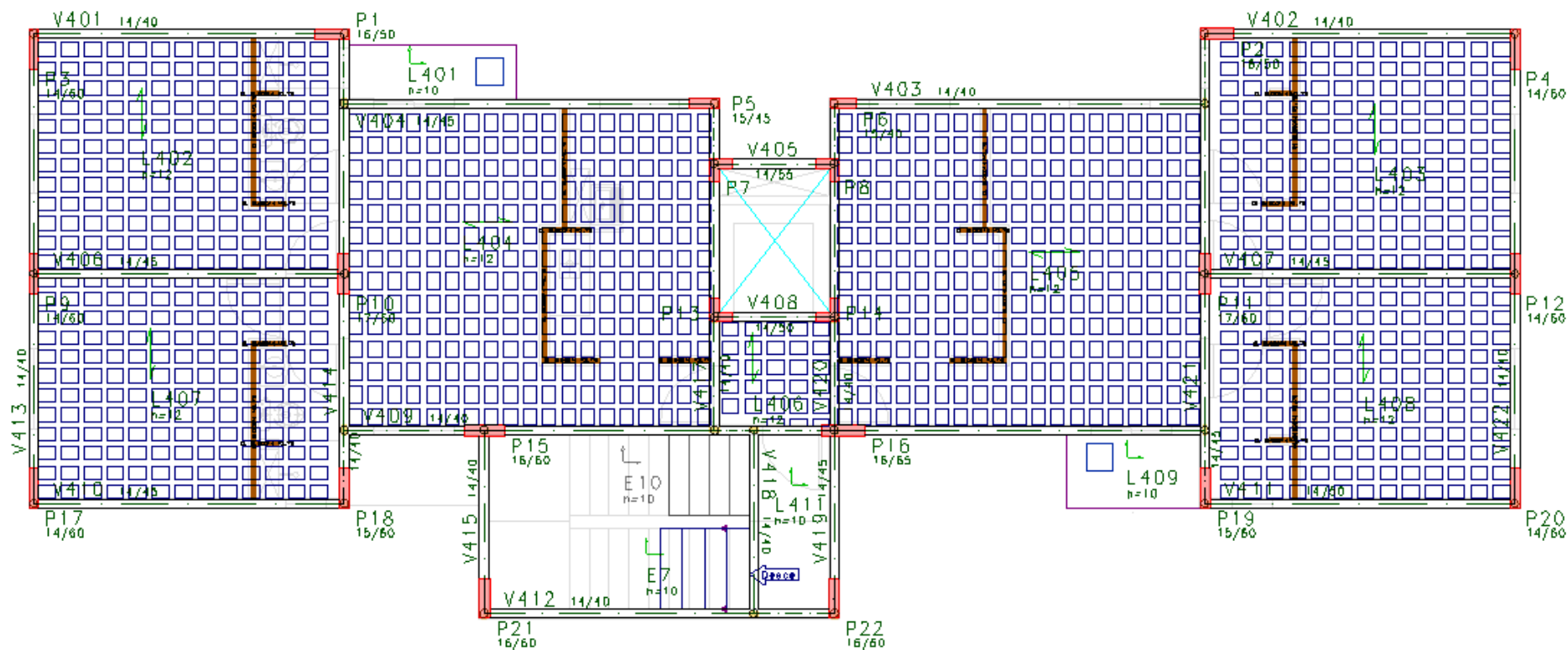
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 35 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas unidirecionais



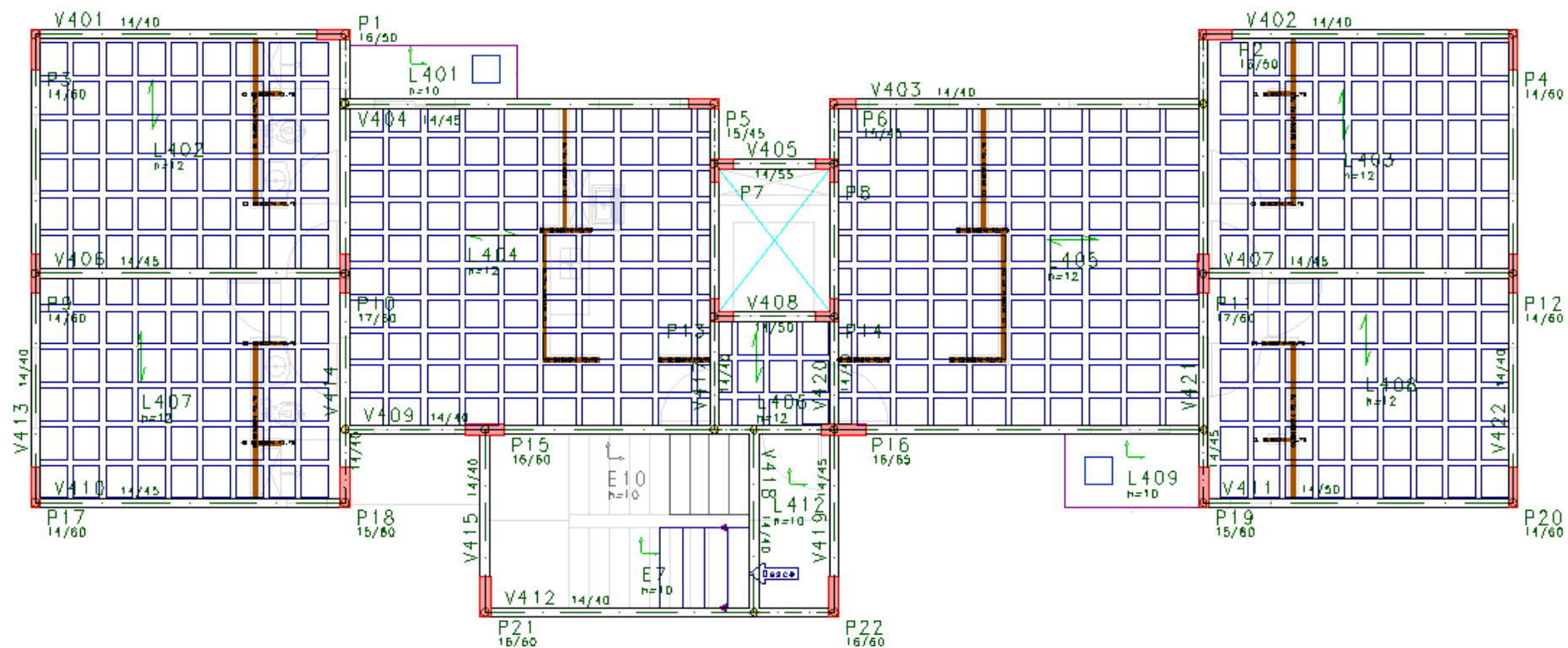
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 36 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas bidirecionais com enchimento cerâmico



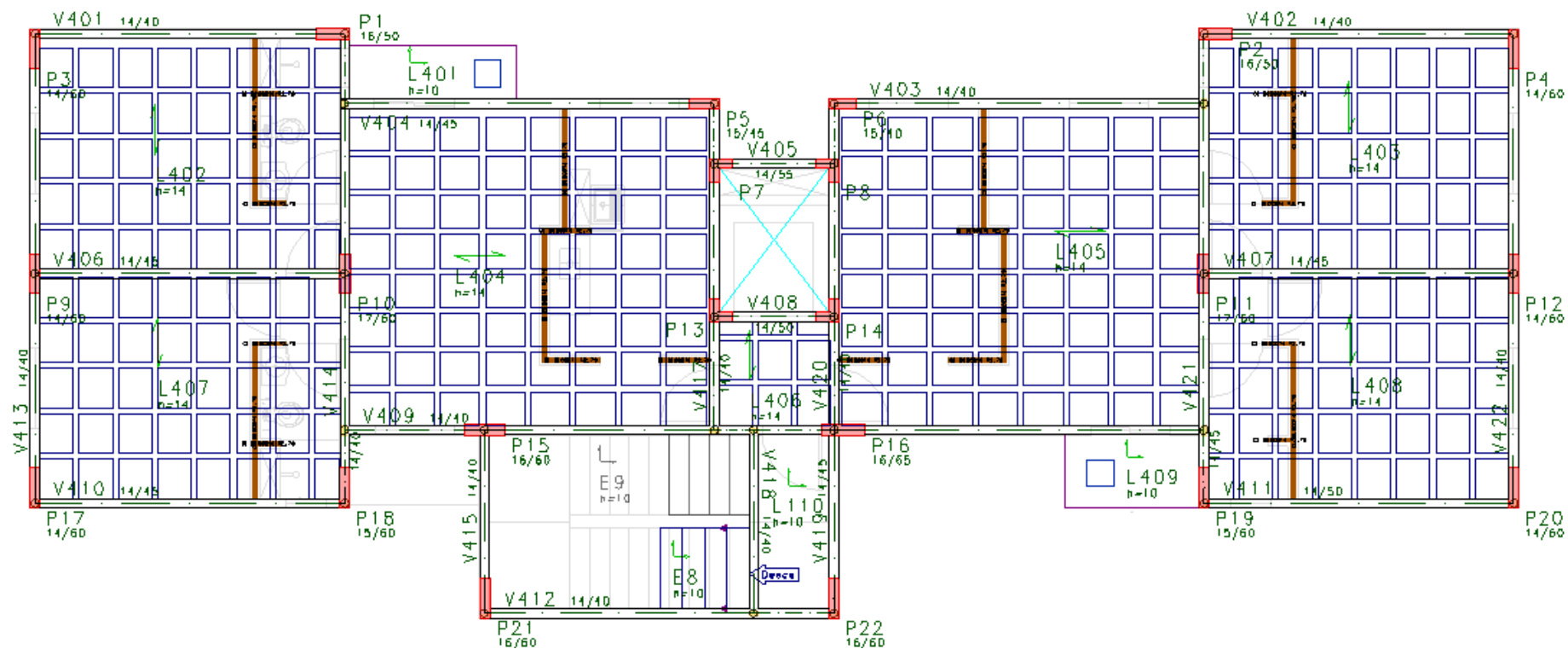
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 37 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas bidirecionais com enchimento EPS 08/40/49



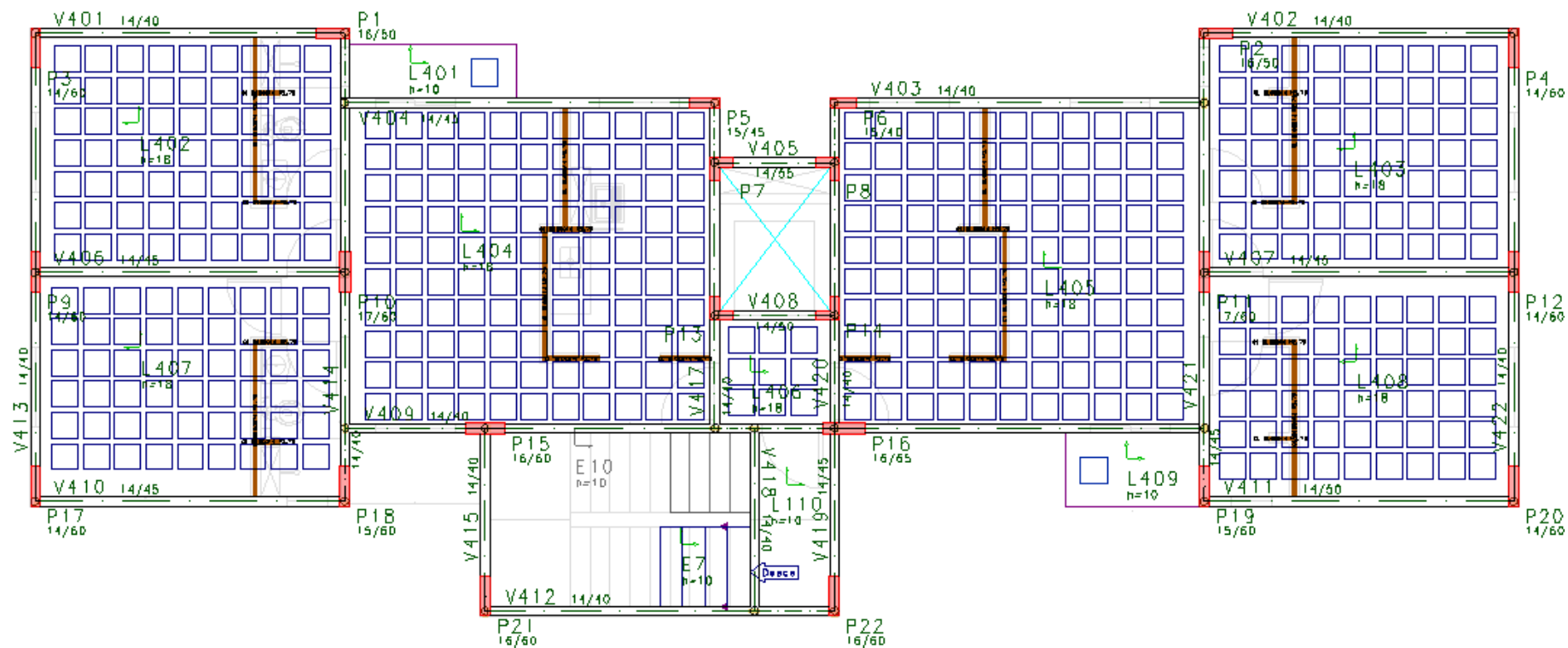
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 38 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes treliçadas bidirecionais com enchimento EPS 10/50/59



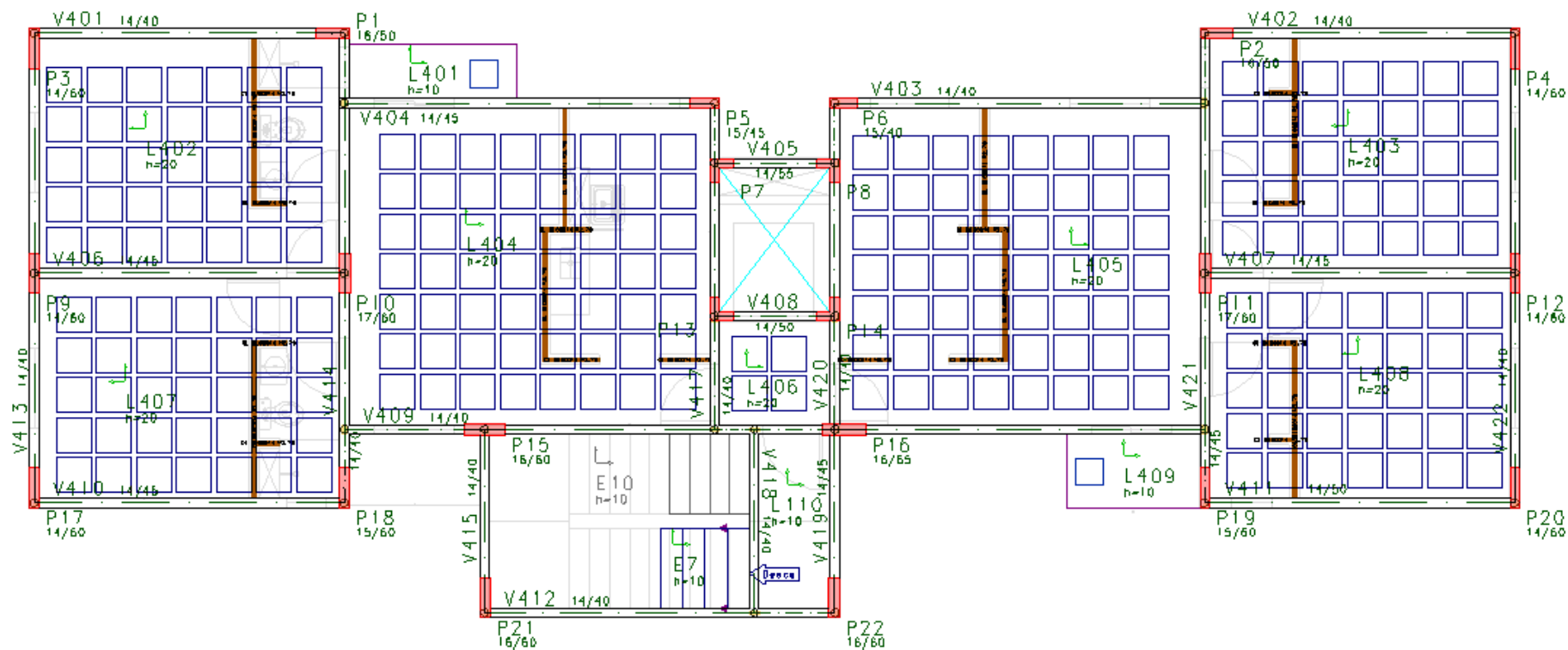
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 39 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes nervuradas de seção retangular



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

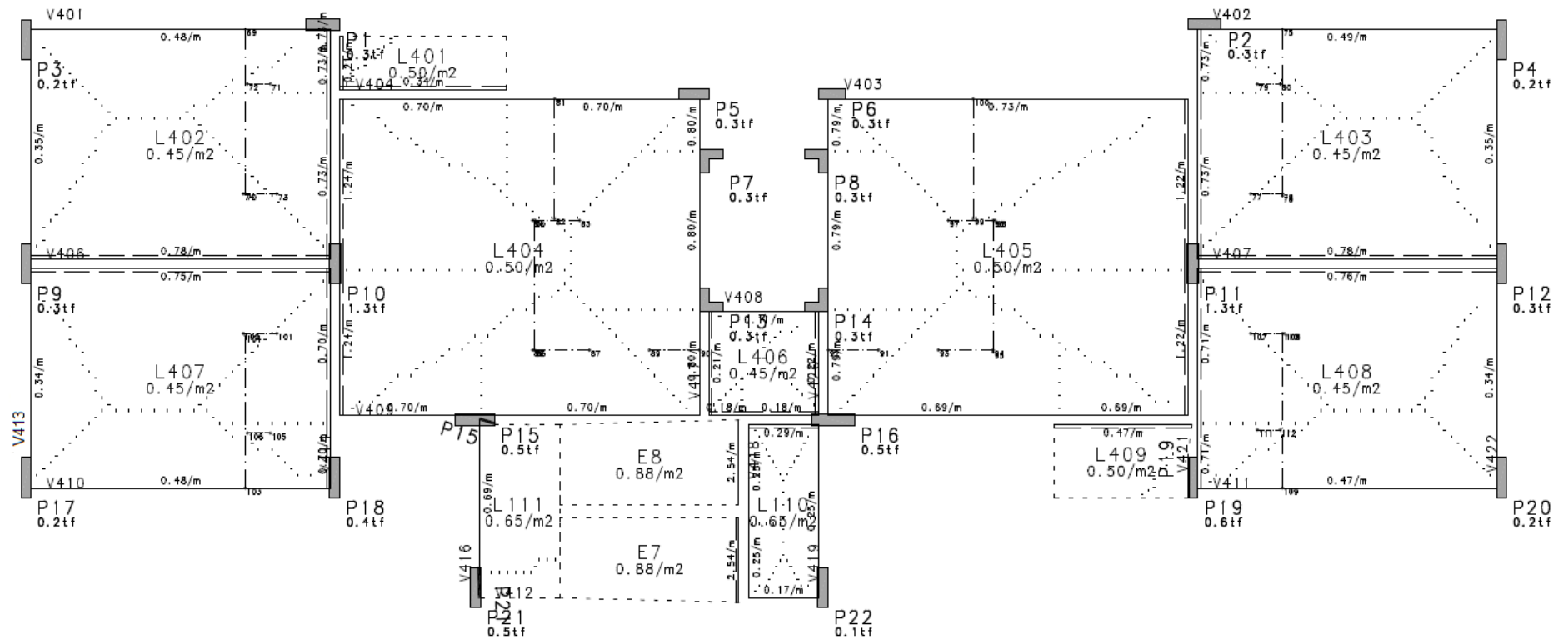
Figura 40 - Planta do pavimento 4 do edifício de lajes nervuradas de seção trapezoidal



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

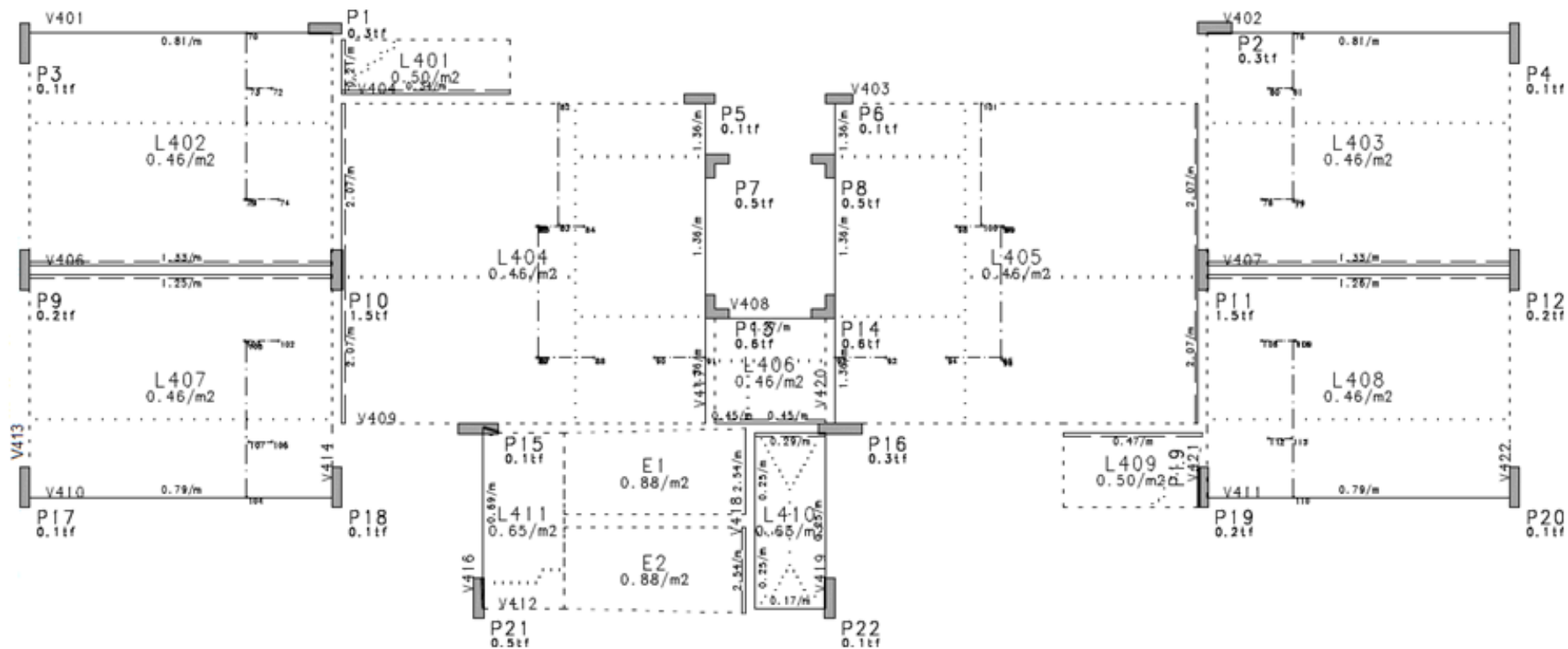
ANEXO B

Figura 41 - Distribuição de cargas laje maciça



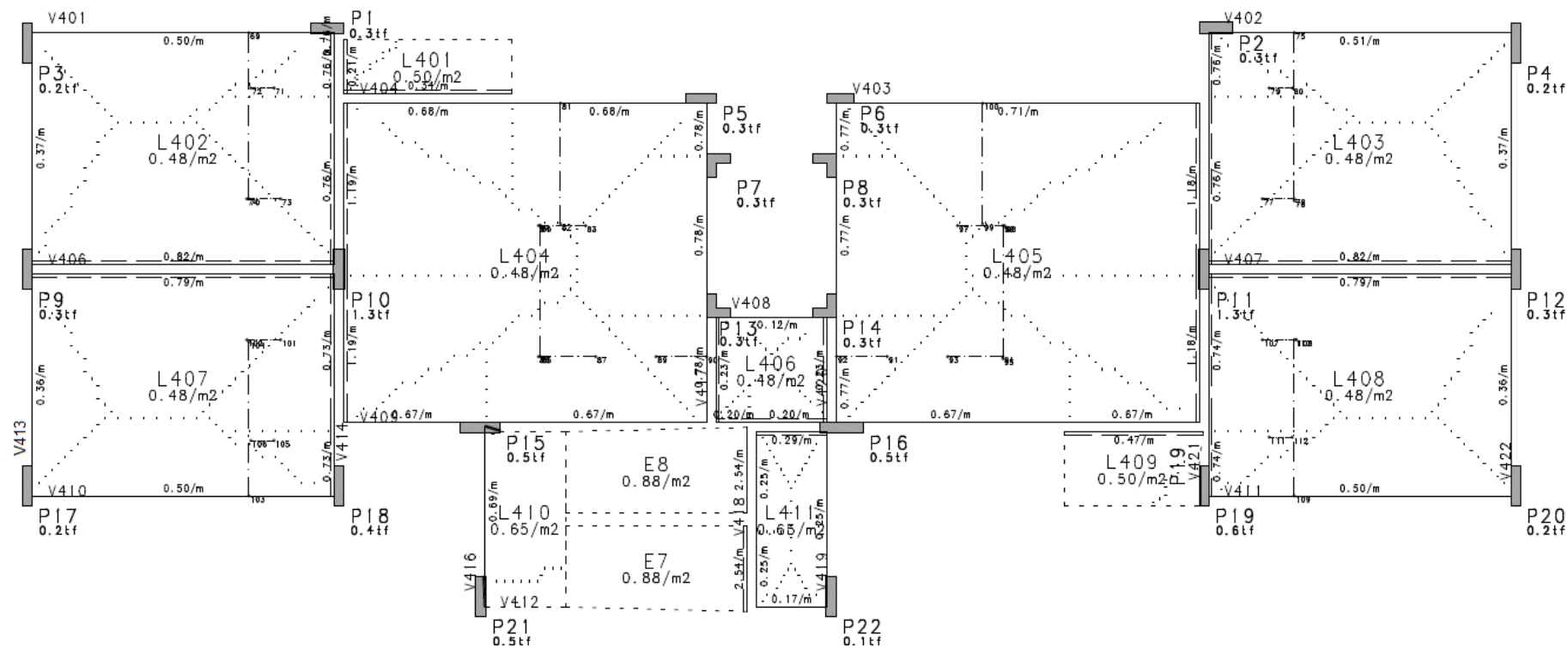
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 42 - Distribuição de cargas laje treliçada unidirecional



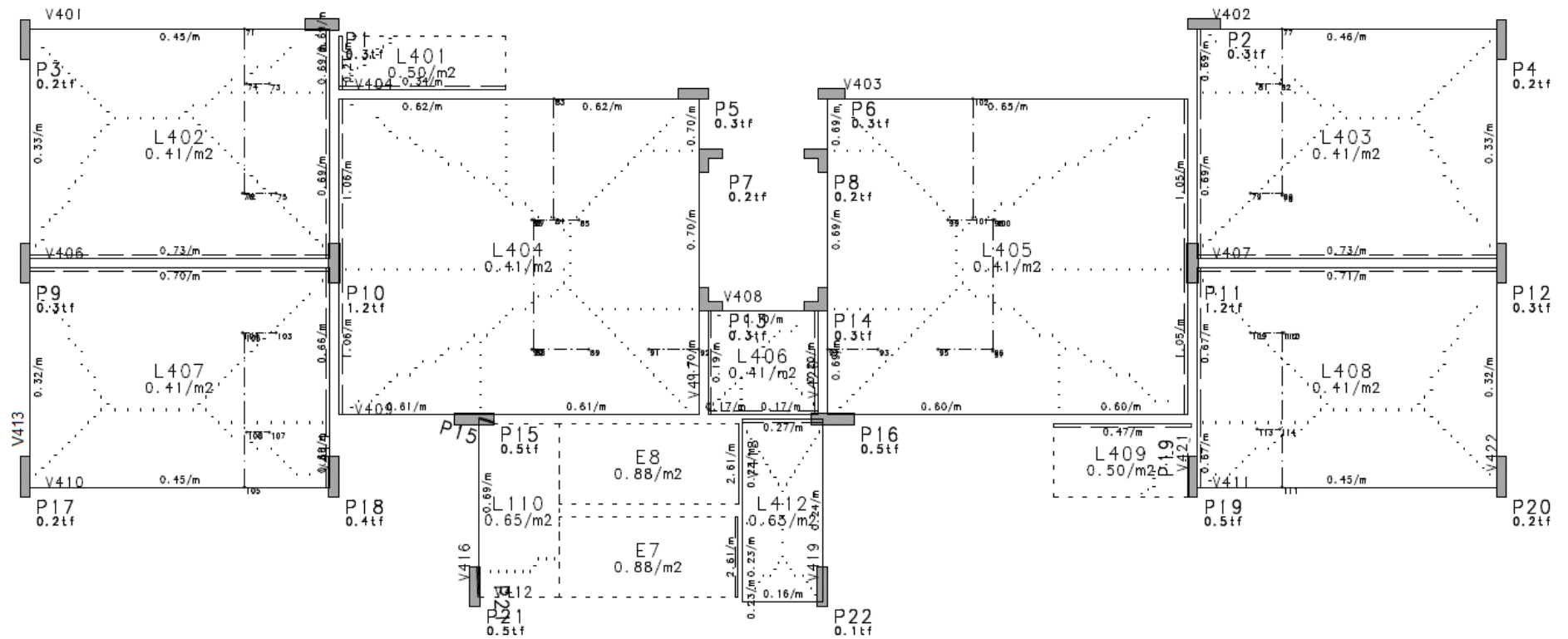
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 43 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional bloco cerâmico



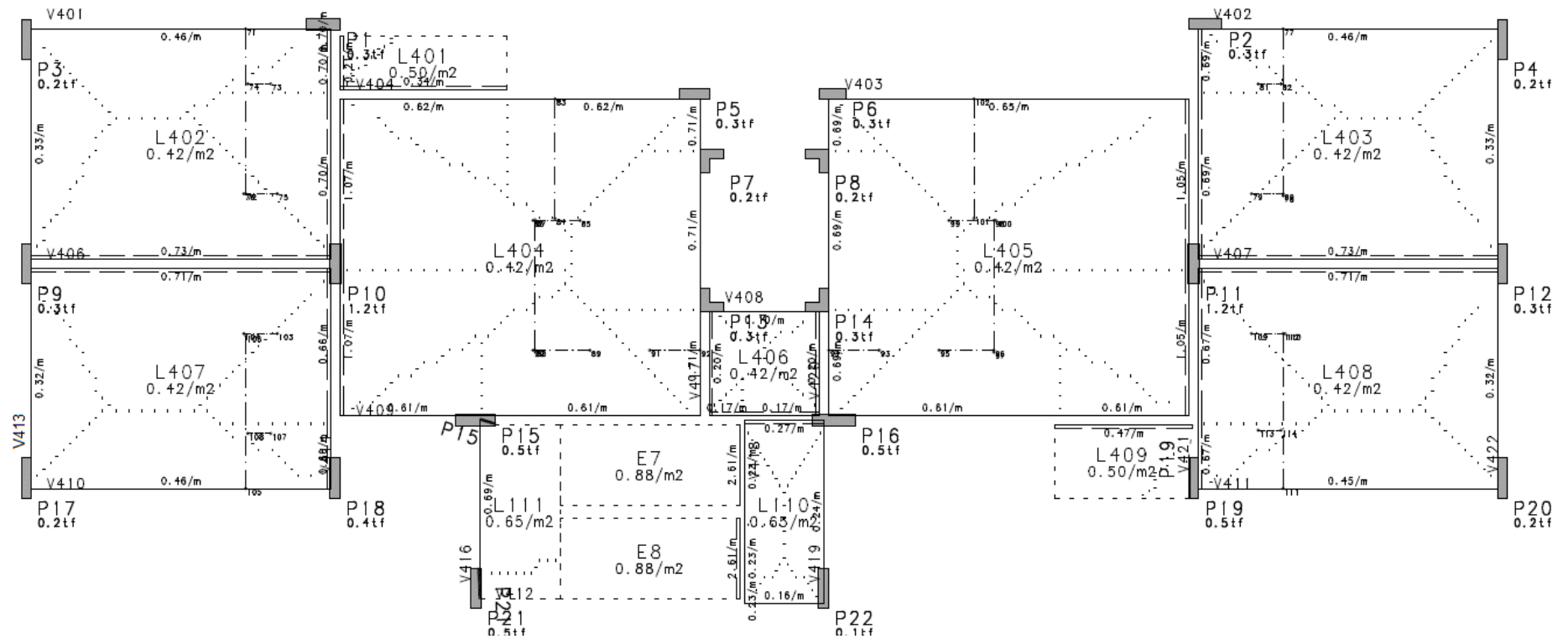
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 44 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 08/40/49



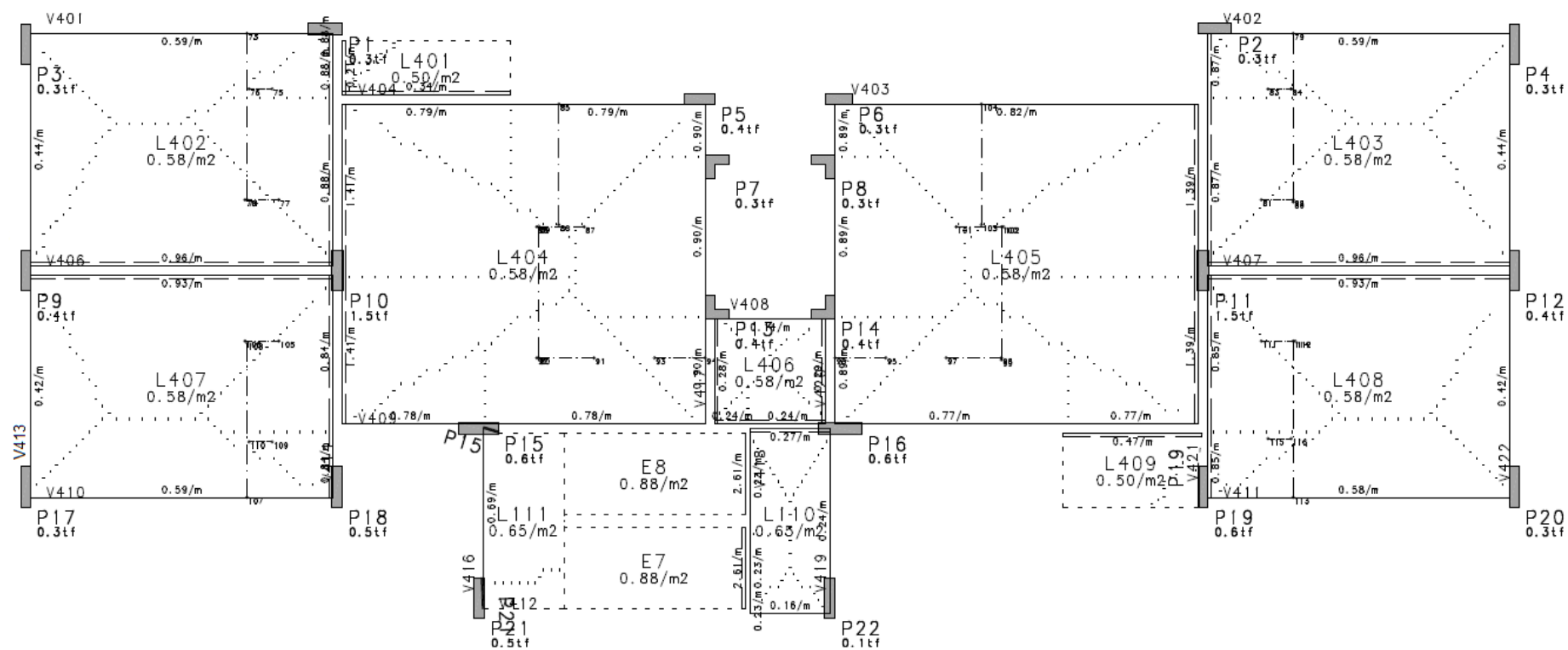
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 45 - Distribuição de cargas laje treliçada bidirecional EPS 10/50/59



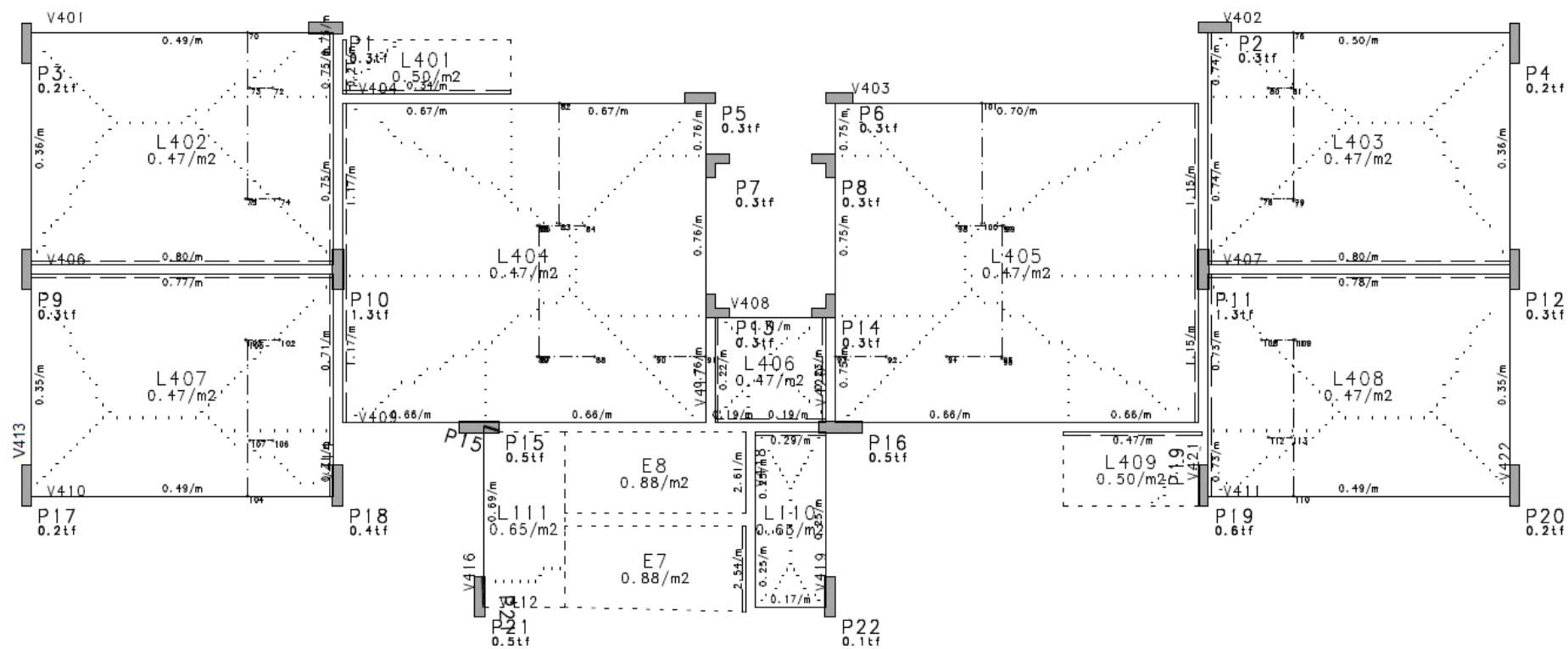
Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 46 - Distribuição de cargas laje nervurada de seção retangular



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.

Figura 47 - Distribuição de cargas laje nervurada de seção trapezoidal



Fonte: Autora (2017), usando o programa TQS.